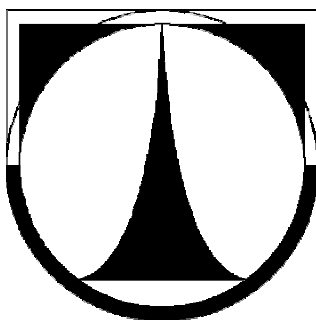


Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Milan Sucharda

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

Strojírenství

Zaměření:

řízení výroby

Využití analýzy vlivu procesních kapalin při broušení pro řízení výroby

Using analysis of the influence of process fluids in grinding for production management

KOM - 1163

Milan Sucharda

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant: Ing. Jan Jeník

Počet stran: 55

Počet tabulek: 9

Počet obrázků: 19

Počet grafů: 9

2.1.2012





MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis



PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Prof. Ing. Alexey Popovovi, DrSc. za cenné rady a připomínky při řešení této práce.

Dále děkuji panu Ing. Janu Jeníkovi za rady v průběhu řešení této práce a pomoc při měření v dílnách.

Rád bych také poděkoval své rodině za podporu při mém studiu a jejich trpělivost.



Označení BP: 1163

Řešitel: Milan Sucharda

Využití analýzy vlivu procesních kapalin při broušení pro řízení výroby

ANOTACE:

Práce zkoumá vliv procesní kapaliny na kvalitu broušeného povrchu a navrhuje vhodný technologický postup pro porovnání různých procesních kapalin. Dále jsou zde kapaliny různých výrobců porovnány a je navrženo vhodné využití této skutečnosti tak aby byly zajištěny co nejlepší ekonomické parametry pro efektivní řízení výroby.

Using analysis of the influence of process fluids in grinding for production management

ANNOTATION:

The work examines the influence of process fluids on the quality of cut surface and suggests a suitable technological process for comparing different process fluids. Then there are various manufacturers of liquid compared and make proposals for appropriate use of this fact in order to ensure the best economic parameters for efficient production management.

Klíčová slova: BROUŠENÍ, PROCESNÍ KAPALINA, ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2012

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 55

Počet tabulek: 9

Počet obrázků: 19

Počet grafů: 9



OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, ZKRATEK A SYMBOLŮ	10
ÚVOD	12
Teoretická část	
1. SHRNUTÍ POZNATKŮ O Vlivu PROCESNÍCH KAPALIN PŘI OBRÁBĚNÍ PRO ŘÍZENÍ VÝROBY	13
1.1. Zvýšení produktivity výroby	13
1.2. Vliv kapaliny na úsporu nákladů	14
1.2.1. Úspora energie při obrábění	14
1.2.2. Úspora za nástroje	15
1.3. Vhodného využití procesní kapaliny ke snížení nákladů	16
2. SHRNUTÍ INFORMACÍ O INTEGRITĚ POVRCHU PŘI BROUŠENÍ	17
2.1. Broušení	17
2.1.1. Podstata metody	17
2.1.2. Brusný kotouč	18
2.1.3. Vliv procesní kapaliny na kvalitu broušeného povrchu	19
2.2. Integrita povrchu	20
2.2.1. Drsnost povrchu	21
2.2.2. Zbytková napětí	23
2.2.3. Barkhasenův šum	24
2.2.4. Stupeň a hloubka zpevnění vrstvy	26
2.3. Shrnutí teoretické části	28
Praktická část	
3. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ	29
3.1. Použité přístroje	29
3.1.1. Vodorovná rovinná bruska BPH 20	29
3.1.2. Brusný kotouč	30
3.1.3. Ruční refraktometr RLC ATC K71901	31
3.1.4. Laboratorní profiloměr Mitutoyo SV-2000 + Surfpak	32
3.1.5. Čerpací jednotka EmP	33



3.2. Navržení metodiky	34
3.3. Výsledky naměřených hodnot při navrhování metodiky	35
3.4. Závěr kapitoly	37
 4. REALIZACE EXPERIMENTŮ	 38
4.1. Popis použitých materiálů	38
4.1.1. Ocel 12 050.1	38
4.1.2. Ocel 14 100.4	38
4.1.3. Ocel 19 733.4	38
 4.2. Příprava vzorků z materiálu 12050.1	 39
4.2.1. Řezání materiálu	39
4.2.2. Frézování	40
4.2.3. Odjehlení	40
4.2.4. Značení	41
4.2.5. Předbroušení	41
4.3. Popis použitých procesních kapalin	42
4.3.1. Paramo ERO-SB	42
4.3.2. Paramo ERO-AW	42
4.3.3. Paramo EOPS UNI	43
4.3.4. Paramo SK 220	43
4.3.5. Cimcool CIMSTAR 598	43
4.3.6. Triga DIOL	43
4.4. Příprava chladicí kapaliny	44
4.4.1. Měření s refraktometrem	44
4.4.2. Kalibrace refraktometru	44
4.4.3. Měření pH	45
 5. HODNOCENÍ OBROBENÝCH SOUČÁSTÍ A POROVNÁNÍ VLIVU JEDNOTLIVÝCH PROCESNÍCH KAPALIN NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY	 46
5.1. Průběh experimentu	46
5.2. Výsledky naměřených hodnot při porovnání procesních kapalin	46



6. SHRUTÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	50
7. ZÁVĚR	51
SEZNAM TABULEK, GRAFŮ A OBRÁZKŮ	52
SEZNAM LITERATURY	54
SEZNAM PŘÍLOH	55



SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, ZKRATEK A SYMBOLŮ

v_c	$[\text{ms}^{-1}]$	Obvodová rychlost brousícího kotouče
R_a	$[\mu\text{m}]$	Střední aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R_z	$[\mu\text{m}]$	Výška nerovnosti profilu určena z 10 bodů
R_y	$[\mu\text{m}]$	Nejvyšší výška nerovnosti profilu
S_m	$[\mu\text{m}]$	Střední rozteč nerovnosti profilu
S	$[\mu\text{m}]$	Střední rozteč místních výstupků profilu
l_p	$[\mu\text{m}]$	Nosný podíl profilu
l	$[\text{mm}]$	Základní délka
\varnothing	$[\text{mm}]$	Průměr
t	$[\text{ms}]$	Čas
a_p	$[\text{mm}]$	Hloubka záběru
Brix	$[\%]$	Celková koncentrace všech látek rozpuštěných ve vodě
$^{\circ}\text{C}$	$[-]$	Stupeň Celsia
r_n	$[-]$	Poloměr ostří
γ_0	$[-]$	Úhel čela zrna
W	$[-]$	Watt
kW	$[-]$	Kilowatt
kPa	$[-]$	Kilopascal
%	$[-]$	Procento
ms	$[-]$	Milisekunda
kg	$[-]$	Kilogram
mm	$[-]$	Milimetr
l	$[-]$	Litr
l/s	$[-]$	Litr za sekundu
m min^{-1}	$[-]$	Metr za minutu
A	$[-]$	Ampér
V	$[-]$	Volt
$^{\circ}$	$[-]$	stupeň
pH	$[-]$	Záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů
C	$[-]$	Chemická značka Uhlíku



Mn	[-]	Chemická značka Manganu
Si	[-]	Chemická značka Křemíku
Cr	[-]	Chemická značka Chromu
Ni	[-]	Chemická značka Niklu
P	[-]	Chemická značka Fosforu
S	[-]	Chemická značka Síry
SiC	[-]	Karbid Křemíku
B ₄ C	[-]	Karbid Bóru
Al ₂ O ₃	[-]	Umělý korund- Oxid hlinitý
KNB	[-]	Kubický nitrid Bóru
HB	[-]	Tvrdost podle Brinella
ČSN	[-]	Česká technická norma
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)



ÚVOD

Hlavním úkolem řízení výroby je realizovat zpracovatelské operace (soustružení, broušení, lapování,...), tak aby byly zajištěny co nejlepší ekonomické parametry pro produkci, která je vyžadována. Za důležité ekonomické parametry je považována produktivita, průběžná doba výroby, minimální vložený kapitál apod. Při řízení výroby je důležité především věnovat pozornost jednotlivým zpracovatelským operacím a zároveň eliminovat ztráty, které při vlastní výrobě vznikají (transport mezi pracovišti, čekání, kontrola, aj.). Předkládaná práce se zabývá problematikou jedné zpracovatelské operace- broušení.

Zvýšit produktivitu, snížit náklady na operaci, snížit průběžnou dobu výroby a zároveň dodržet kvalitu povrchu po broušení můžeme několika různými způsoby. Nejvýznamnější z nich je použití vhodného procesního média, díky němuž ušetřím opakované broušení, lapování apod. a vytvořím tím vhodné podmínky pro splnění parametrů vhodného řízení výroby.

Cílem této práce je tudíž vytvořit předpoklady pro řízení výroby, navrhnout a ověřit nejvhodnější technologii posuzování procesních kapalin při broušení. Zároveň je zde porovnáno několik vzorků kapalin od různých výrobců.



TEORETICKÁ ČÁST

1. SHRUTÍ POZNATKŮ O VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN PŘI OBRÁBĚNÍ PRO ŘÍZENÍ VÝROBY

Každý výrobní proces má svůj vlastní jedinečný souhrn součástí, pomocí nichž lze dosáhnout maximálních výsledků. Jednotlivé součásti ve výrobním procesu mohou minimalizovat nebo optimalizovat náš proces.

Procesní kapaliny nejsou často považovány za jedny z nejdůležitějších faktorů ovlivňující proces a nebere se na ně až takový zřetel. V praxi se však zjistilo, že procesní kapaliny mohou mít na výrobní proces zcela stejný účinek jako stroje, nástroje, obrobky, software nebo obsluha.

1.1. Zvýšení produktivity výroby

V každém výrobním procesu vznikají ztráty, které nám neumožňují dosáhnout maximální teoretické produktivity výroby. Je zřejmé, že pojem maximální produktivita výroby je nadnesený a nikdy nejsme schopni tohoto cíle dosáhnout, ačkoli pokaždé bude možné některý prvek v našem výrobním procesu zlepšit.

Ztráty ve výrobě:

- plánované ztráty: víkendy, úklid, údržba, celozávodní dovolená, ...
- operační ztráty: špatná obsluha, nastavování a přestavování strojů, změna produkce, ...
- výkonové ztráty: selhání, špatné nastavení stroje, prodloužení cyklu, ...
- nekvalitní výroba: výroba zmetků, vada materiálu, opravy, ...

Některé ztráty ve výrobě nejsme schopni zcela odstranit, ale je důležité tyto ztráty snížit na minimum. Pokud totiž ušetříme 1 korunu přímo ve výrobě, zvýšíme tím zisk firmy o mnohem více než právě jen 1 korunu.

Většina firem pracuje s využitím svých výrobních kapacit kolem 50 % a při zvyšování objemu výroby se rozhodnou přidat další výrobní linku či stroj. Důkladnou analýzou by se ale ve většině případů zjistila skrytá kapacita výroby a bylo by možné provést cílené změny vedoucí k lepšímu využití stávajícího zařízení a zvýšení celkové produktivity výroby.

1.2. Vliv kapaliny na úsporu nákladů

1.2.1. Úspora energie při obrábění

Procesní kapalina plní tři hlavní funkce v procesu obrábění. Odvádí část tepla vzniklého při obrábění, dále snižuje tření v místě řezu a odplavuje vzniklé třísky.

Jedna z nevýznamnějších funkcí procesní kapaliny při úspoře energie je, že díky kapalině se snižuje tření v místě řezu. Je známo, že při tření vzniká velké množství tepla. Toto teplo proudí z velké části do obrobku, do třísky a část ho odvede procesní médium. Takto vzniklé teplo při obrábění je nežádoucí a považuje se za ztrátové.

Pokud při obrábění nepoužijeme procesní kapalinu, musíme vynaložit velké množství energie navíc, která se mění právě v teplo vznikající třením. Tudíž musíme mít mnohem výkonnější stroj a náklady na energii rapidně stoupají.

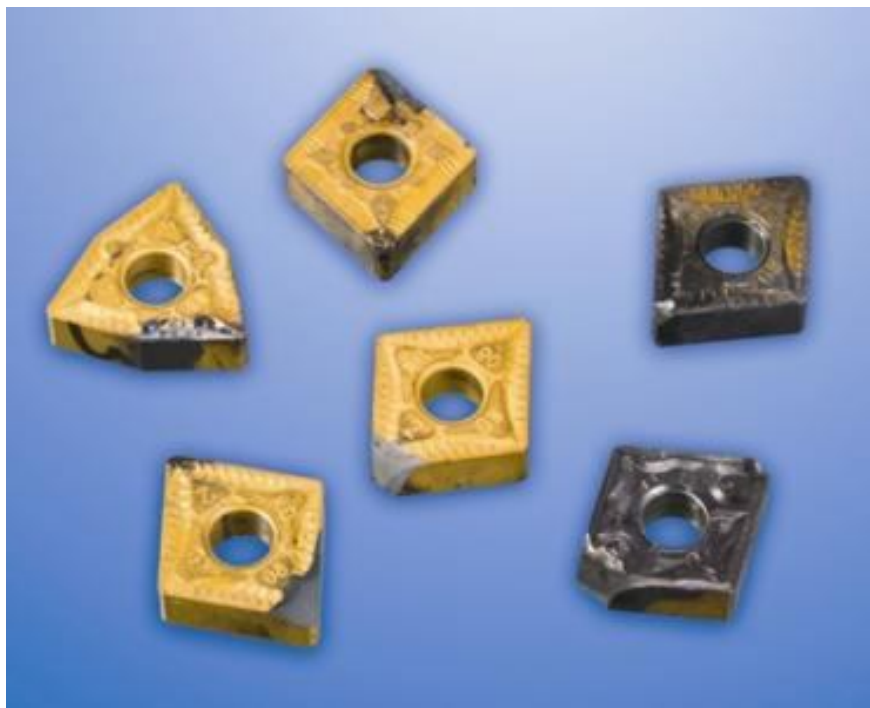
Použitím vhodného procesního média můžeme snížit tření, tím eliminujeme vznik nežádoucího tepla při obrábění a vyvarujeme se výše uvedenému problému.

1.2.2. Úspora za nástroje

Teplo vznikající při obrábění kovů vystavuje řezný nástroj velmi rozdílným tepelným podmínkám. Při utváření třísky a její tření o čelo nástroje či destičky při vysokých řezných rychlostech neblaze ovlivňuje životnost břitu nástroje.

Pokud se zaměříme na obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií břitu a jako příklad uvedeme brusný kotouč je zde použití kapaliny také velmi významné. Procesní médium odvádí vzniklé teplo, ale zároveň odvádí i třísky a nedochází k tak rapidnímu zanesení brusného kotouče jako při broušení bez procesní kapaliny. Brusný kotouč pak nemusíme tak často orovnávat a jeho životnost se výrazně zvyšuje.

Procesní kapalina má nezanedbatelný vliv na trvanlivost nástroje a jejím správným použitím můžeme náklady na nástroje značně snížit.



Obr. 1.1. Různě opotřebené destičky ze SK [3]



1.3. Vhodného využití procesní kapaliny ke snížení nákladů

Abychom byli vzhledem k celosvětové konkurenci a rivalitě mezi firmami schopni obstát, je nutné snižování nákladů na výrobu jednoho kusu či celé dávky na minimum.

Je důležité snižování jak režijních nákladů firmy, tak nákladů na jednici.

Jedním z nejefektivnějších způsobů snížení nákladů na obrábění je snížení jak hrubovacích operací tak ale i operací dokončovacích.

Proto se v dalších kapitolách této práce budeme zaměřovat jak za pomoci procesní kapaliny dosáhnout požadované integrity povrchu zejména parametru drsnosti povrchu, aniž bychom museli obrobek po broušení dále leštit, lapovat či honovat.

Aplikací tohoto návrhu je snaha o snížení nákladů a zvýšení objemu výroby při současném dodržení kvality.



2. SHRUTÍ INFORMACÍ O INTEGRITĚ POVRCHU PŘI BROUŠENÍ

2.1. Broušení

Broušení je jak už známo nejstarší technologie opracování kovů. Jedná se o dokončovací metodu obrábění rovinných, válcových či tvarových ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrny tvrdých materiálů. Zrna jsou v nástroji navzájem vázaná vhodným pojivem. Proces broušení je v první řadě nejčastěji používán při výrobě součástí s vysokou přesností a požadavkem na dosažení úzkých tolerancí, které jinou technologií obrábění zaručit nelze. V druhé řadě se bez této technologie neobejdeme při obrábění velmi těžko obrobitelných součástí.

Oproti třískovému obrábění, broušení vyžaduje vysokou energii na jednotku obrobené plochy. Okamžitá teplota v místě řezu závisí na mnoha faktorech. Jako nejvíce ovlivňující můžeme podotknout např. typ chladicí kapaliny, řezné podmínky, typ kotouče atd.

2.1.1. Podstata metody

„Pro broušení je charakteristické, že je současně v záběru velké množství zrn (břitů), která odebírají třísky velmi malých průřezů různých velikostí. Úhel čela zrna γ_0 je zpravidla negativní a poloměr ostří r_n je u běžných velikostí zrn 5 až 40 μm .“ [2]

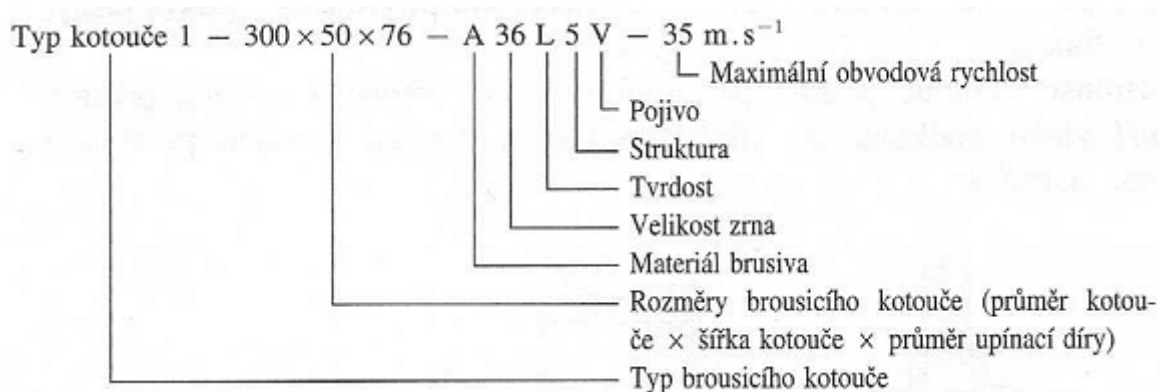
Tato metoda obrábění má oproti ostatním metodám jednu výhodnou vlastnost, která se nazývá **samoostření**. Při broušení totiž dochází k otupování zrn nástroje, tím se zvětšuje řezná síla a dochází k vylamování již tupých zrn. Tomuto jevu se říká právě samoostření.

2.1.2. Brusný kotouč

Brousící materiál tvoří zrna brusiva vázaná v pevných nebo pružných tělesech, které mají různou velikost či tvar. Kotouč může být například řezací, drážkový, tvarový atd.

Všeobecná charakteristika brousících kotoučů je dána podle normou ČSN 22 4501.

- druh brousícího materiálu
- zrnitost brousícího materiálu
- tvrdost
- struktura nástroje
- druh pojiva
- rozměr kotouče
- maximální obvodová rychlost

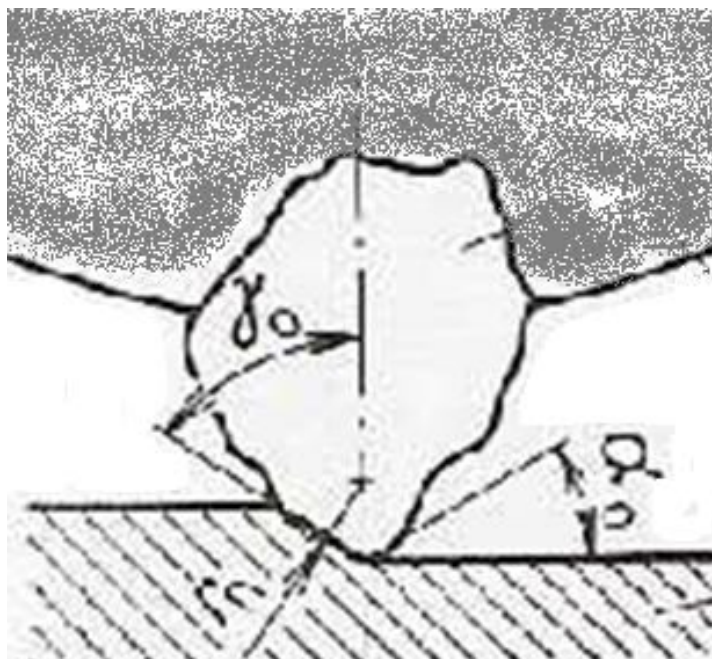


Obr. 2.1. Příklad označení brousícího kotouče [2]

Brusivo může být přírodní nebo umělé. Mezi přírodní brusiva patří diamant, pískovec, smírek, křemičitý písek, pazourek, granát, křemičitý korund a pemza. V dnešní době se spíše setkáváme s brusivem umělým:

- umělý kornud Al_2O_3 (hnědý, bílý, růžový); označení: A
- karbid křemíku SiC (černý, zelený); označení: C
- karbid bóru B_4C ; označení: B
- umělý diamant; označení: D
- kubický nitrid bóru $\text{KNB N}_2\text{B}_3$; označení: BN

Zrna brusiva v kotouči jsou spojena pojivem, které vytváří můstky mezi brousícími zrna a jeho vlastnosti významně ovlivňují tzv. samoostření brousícího nástroje. Druh pojiva také výrazně ovlivňuje pevnost brousícího nástroje a tím i jeho maximální obvodovou rychlost. Vyskytují se dva druhy pojiva. A to organické (šeleková, umělopryskyřičná a pryžová) a anorganické pojivo (keramické, síkatové, kovové, polyuretanové a magnetitové).



Obr. 2.2. Zrno kotouče v záběru

2.1.3. Vliv procesní kapaliny na kvalitu broušeného povrchu

Při broušení vzniká v místě řezu kvůli vysoké řezné rychlosti značné množství tepla. Je proto ve většině případů při broušení nutné použít chladicí kapalinu, která má tři funkce:

- odvádí část tepla vzniklého při broušení
- snižuje tření v místě řezu a tím i množství vzniklého tepla
- odplavuje vzniklé třísky i odlomené části zrn kotouče

Chladicí kapalina musí být přiváděna v dostatečném množství do místa řezu. Při běžném broušení asi 1 litr kapaliny za minutu na 1mm šířky kotouče. Při rychlostním broušení je nutné přivádět kapalinu pod vysokým tlakem a ve větším množství.

Pro běžné broušení se používá roztoků elektrolytů a emulzí, pro náročnější broušení se používají speciální chladicí kapaliny a řezné oleje určené pro broušení.

2.2. Integrita povrchu

„Soubor charakteristik, které popisují vliv povrchové vrstvy, může být různě široký, nejen s ohledem na použité výrobní technologie a na způsob zatěžování součásti v provozu, ale i se zřetelem na technické možnosti, ekonomické a organizační aspekty kontroly.

*Pro takový soubor vlastností povrchové vrstvy se vžil pojem **integrita povrchu**. Tento výraz nepatří přesně definované fyzikální nebo technologické veličině, ale je to označení pro více méně volný soubor takových vlastností povrchu a povrchové vrstvy, které jsou vytvořeny nebo ovlivněny technologickými procesy a u kterých se současně očekává vliv na funkční vlastnosti součásti.“ [1]*

Nejvýznamnější a nejčastěji sledované faktory, které určují integritu povrchu po broušení:

- topografie povrchu- drsnost povrchu, kontrola existence trhlinek,...
- smysl, velikost a gradient zbytkových pnutí
- stupeň a hloubka zpevnění vrstvy
- strukturní, fázové a chemické změny v povrchové vrstvě

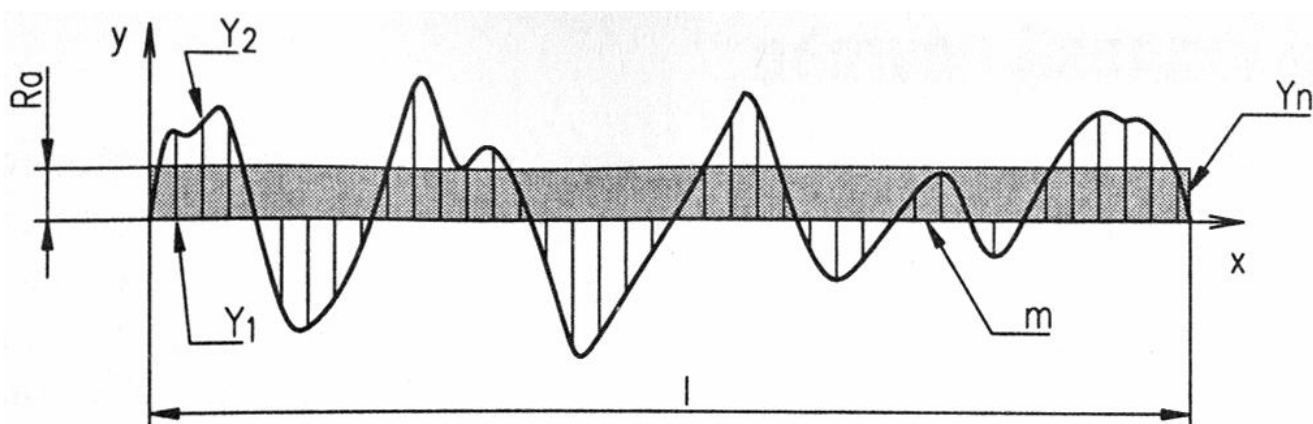
2.2.1. Drsnost povrchu

Drsnost povrchu se určuje podle druhu, vzhledu a hloubky stop, které na povrchu součásti zanechává nástroj.

Hodnocení jednoho z faktorů kvality povrchu obrobeneho materiálu může prováděna podle hodnoty drsnosti, standardně střední aritmetickou odchylkou profilu R_a . Tato hodnota bývá obvykle měřena mechanickými nebo optickými metodami. Již méně častou ale přesto přesnější a komplexnější metodou je poměrná plošná drsnost, která je dána poměrem plochy geometrického průmětu a plochy nerovného povrchu. Pro určení této metody měření poměrné plošné drsnosti je potřeba znát prostorové rozložení povrchových bodů.

Metody hodnocení drsnosti povrchu:

Metodu hodnocení drsnosti povrchu udává norma ISO 467.



Obr. 2.3. Profil povrchu [8]

Parametry popisující drsnost povrchu:

- R_a střední aritmetická úchylka posuzovaného profilu
- R_z výška nerovnosti profilu určena z 10 bodů
- R_y nejvyšší výška nerovnosti profilu
- S_m střední rozteč nerovnosti profilu
- S střední rozteč místních výstupků profilu
- l_p nosný podíl profilu
- l základní délka

Statická metoda určení Ra:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n}$$

Integrální metoda určení Ra:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

Příklady dosahovaných drsností povrchu při různých metodách výroby povrchu:

Druh metody	střední aritmetická úchylka posuzovaného profilu			
Dokončovací metody (broušení, lapování,...)	0,012 0,2	0,025 0,4	0,05 0,8	0,1
Běžné obrábění (soustružení, frézování,...)	1,6	3,2	6,4	12,5
Povrch polotovarů (výkovky, odlitky,...)	25 400	50	100	200

Tab. 2.4. Srovnání dosahovaných drsností

V České republice je nejběžnější pro hodnocení drsnosti povrchu střední aritmetická úchylka Ra.

Ta se měří nejčastěji pomocí tzv. drsnoměrů tak, že měřicí hrot se pomocí servomotoru posouvá po nastavené délce. Na hrotu snímače je diamantová kulička, která kopíruje povrch vzorku a generuje signál nesoucí informaci o profilu. Tento signál je zesílen pomocí elektrické jednotky a přenesen do počítače, kde jsou tyto data zpracována programem. Měření se musí co nejvíce přiblížit standardní definici drsnosti podle požadované normy. Na drsnoměru lze tudíž přepnout rozteč systematických nerovností, tím je odfiltruje. Dále lze také přepnout způsob vyhodnocení průběhu příčných pohybů snímacího hrotu. Abychom zabránili, přenosu vibrací z okolí na měřicí systém, umístujeme celý systém na plovoucí stolek.

2.2.2. Zbytková napětí

Při procesu broušení působí jednotlivá zrna nástroje na povrchu obrobku v oddělených oblastech plastické deformace. Při záběru zrn dochází k elastické deformaci, poté následuje plastická deformace. Když je brusný kotouč v záběru, dochází o tření elementární třísky materiálu o zrno kotouče, současně také působí tření zrna o materiál.

Tyto popsané jevy jsou provázeny vznikem značně velkého množství tepla a vysokými tlaky, což je důvodem vzniku zbytkových napětí v broušeném povrchu.

Faktory ovlivňující zbytková napětí:

- řezné podmínky
- řezné prostředí
- materiál obrobku
- materiál nástroje
- geometrii nástroje
- tuhost soustavy

Vzhledem k tomu, že se tloušťka ovlivněné vrstvy po broušení pohybuje mezi 0,3 a 0,4 mm, nemusíme uvažovat změnu vlastností statické pevnosti součástí. Oproti tomu vliv zbytkových napětí na dynamickou pevnost a únavu součástí uvažovat musíme, ačkoli je velmi výrazný. Můžeme jednoznačně říci, že tahová zbytková napětí snižují únavovou pevnost, oproti tomu tlaková napětí mají pozitivní vliv. Dominující vliv zbytkových napětí má jejich smysl, velikost a gradient.

Tři druhy zbytkových napětí:

I. druhu:

Zasahují buď celý objem součástky, nebo její podstatnou část. Mají makroskopický charakter. K těmto napětím patří i napětí v nekonečně tenké, ale rozsáhlé oblasti. Porušením kompaktnosti součásti dojde ke změně její makrogeometrie. Tento jev nastává například při dělení materiálu.

II. druhu:

Zasahují objem několika krystalových zrn. Porušením kompaktnosti součásti nemusí dojít ke změně její makrogeometrie.

III. druhu:

Projevují se v objemu několika atomových vzdáleností a dosahují rovnováhy jen v dostatečně velké části zrna. V tomto případě nikdy nedojde ke změně její makrogeometrie.

Velikost zbytkových napětí je ovlivněna:

- Množstvím působícího tepla
- Velikostí mechanického zatížení povrchu broušené plochy
- Změnami struktury

Při zjišťování zbytkových napětí jsme se v minulosti nevyhnuli poškození zkoumaného vzorku, jednalo se o tzv. **destruktivní metody** zjišťování zbytkových napětí, mezi něž patří:

- odleptání povrchu
- vrtání povrchové vrstvy
- rozpouštění povrchu

V současné době jsme schopni zkoumat zbytková napětí a přitom nijak nepoškodit zkoumaný vzorek. Jedná se o tzv. **nedestruktivní metody**, jako jsou např.:

- rentgenová tenzometrie
- magnetické metody (detekce Barkhausenova šumu)

2.2.3. Barkhausenův šum

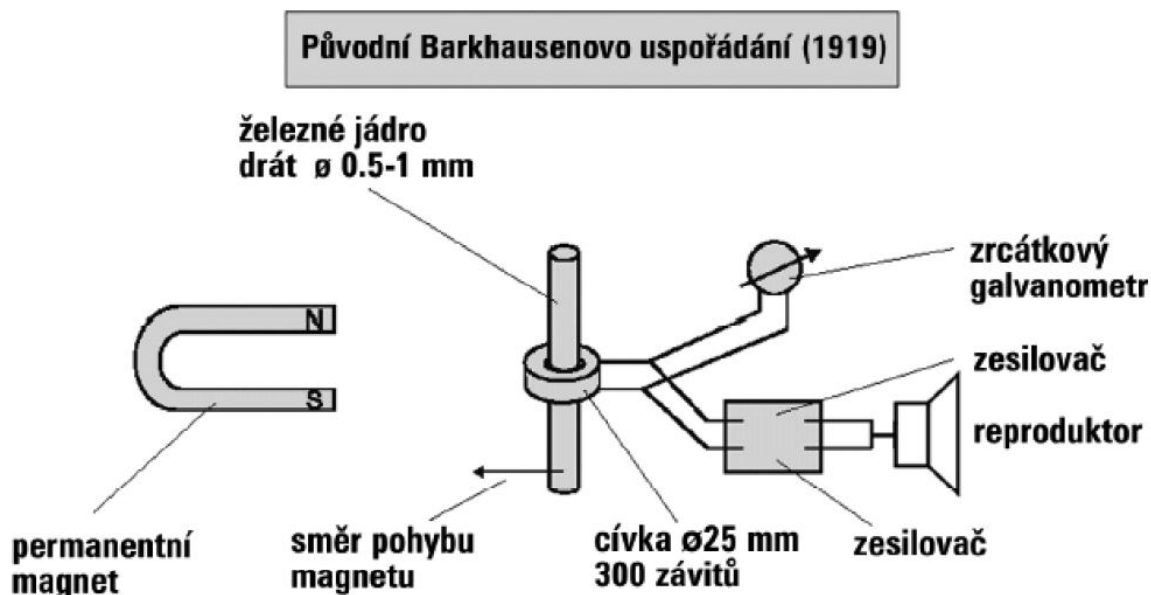
Jelikož zkoumání vzorků pomocí destruktivních metod je velmi nákladné, zdlouhavé a v běžné praxi nepopulární rozhodl jsem se zaměřit na zjišťování zbytkových napětí pomocí jedné z nedestruktivních metod. A to metodou pomocí detekce Barkhausenova šumu. Tento způsob je v současnosti velmi populární. Je využíván k měření obrobených součástí přímo při výstupních kontrolách kvality mnoha firem.

„Barkhausenův šum je jev poprvé popsáný v roce 1919. Název původní práce zní ve volném překladu „Dvě pozoruhodnosti objevené pomocí nového zesilovače“.

Koncem sedmdesátých let mělo s rozvojem elektroniky za následek, že tato fyzikální pozoruhodnost se stala průmyslově používanou metodou detekce strukturních a napěťových změn v materiálech. Významná strukturní i napěťová závislost jevu je využívána k hodnocení integrity povrchu po obrábění či tepelném zpracování.“ [3]

Princip:

Sestavím-li obvod podle uspořádání na obr.1.2. je po přiblížení a oddálení magnetu od jádra cívky slyšet v reproduktoru praskání či chrastění. Tento šum, jak ukázal paralelní vývoj kvantové mechaniky, souvisí s nespojitostmi v procesu magnetizace feromagnetika. Při dalším zkoumání tohoto jevu se ukázalo, že výsledný šum je závislý na tvrdosti ocelového jádra v cívce. Pozorovatelé dospěli k závěru, že čím je materiál tvrdší, tím je praskání slabší. Dále také zjistili, že tahové napětí má na praskání pozitivní vliv, oproti tomu tlakové napětí praskání tlumí. Barkhausenův šum má pro většinu materiálů frekvenční spektrum začínající na magnetizačním kmitočtu a končí přibližně na 250 kHz. Výřivé proudy indukované při šíření signálu mají za následek jeho tlumení. Závislost vzdálenosti na útlumu signálu je exponenciální.



Obr. 2.5. Původní Barkhausenovo uspořádání [3]

Fenomenologický popis jevu:

Feromagnetické materiály jsou složeny z domén. Tyto domény jsou vytvořeny z malých magnetických oblastí podobných tyčovým magnetům. Každá doména se magnetizuje podél krystalograficky význačných směrů. Domény jsou odděleny tzv. doménovými stěnami. Při působení vnějšího magnetické dochází k pohybu těchto stěn. Při pohybu doménových stěn se musí jedna doména zmenšit a doména z druhé strany stěny se naopak zvětší. Výsledkem je změna v celkové magnetizaci vzorku. Přiblížíme-li, cívku ke vzorku v době kdy se doménová stěna pohybuje, indukuje tato změna elektrický puls v cívce.

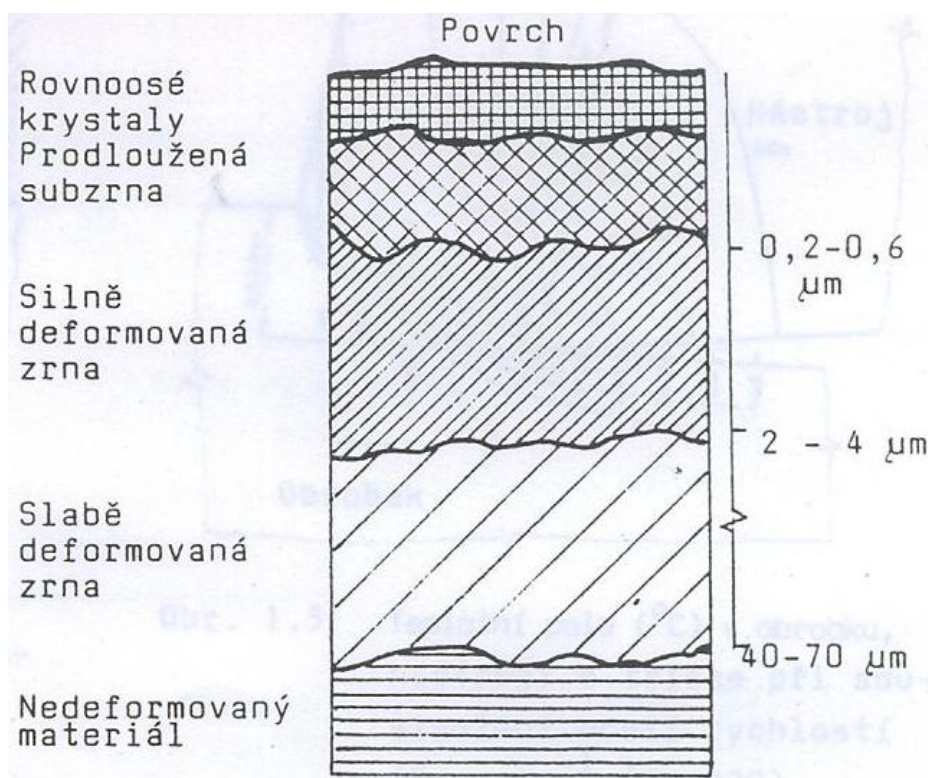
2.2.4. Stupeň a hloubka zpevnění vrstvy

Zpevnění = deformace obrobeného povrchu

Při běžných podmínkách obrábění dochází k intenzivní plastické deformaci pouze v limitní povrchové vrstvě obrobku do malé hloubky několika μm .

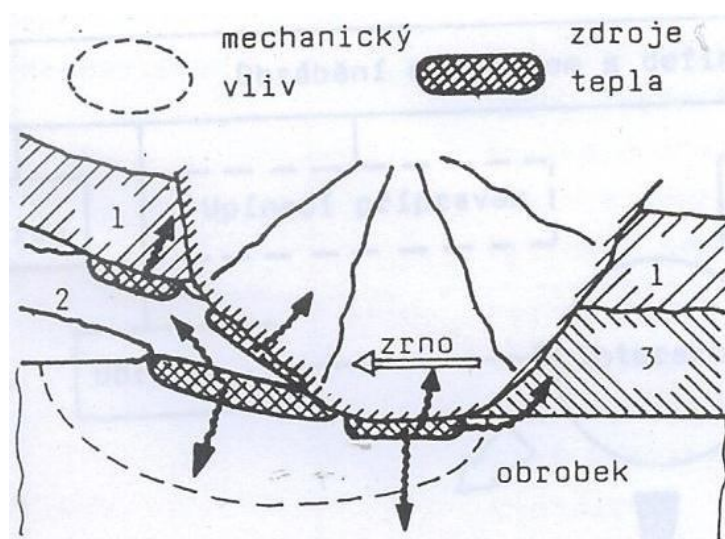
Povrchové vrstvy jsou deformovány dvakrát:

- 1.) Při průchodu elasticko-plastickou oblastí primární deformace jsou namáhány tlakem
- 2.) Normální a tangenciální složkou síly od břitu nástroje, jehož ostří má určitý poloměr. Břit svojí spodní částí stlačuje vznikající povrch. Intenzitu sekundární deformace v oblasti obrobené plochy zvyšuje postupné zvětšování tohoto poloměru a opotřebení hřbetu nástroje při vzniku nárůstku.



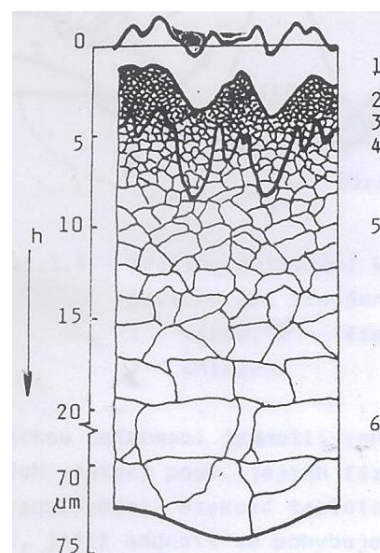
Obr. 2.6. Skladba různě ovlivněných povrchových vrstev [1]

Při broušení obrábíme nástrojem s nedefinovanými břity, u něhož vzniká povrch velmi komplikovaným způsobem. Nevýhodný mechanismus úběru třísek malých průřezů náhodně rozloženými zrny s nepříznivou geometrií spolu s velkým podílem „hrnutí“ materiálu a tření jsou příčinou značné spotřeby energie. Téměř 80 % všech energií se mění v teplo, které proudí převážně do obrobku. Při broušení dosahujeme velkých řezných rychlostí, kdy vysoká pracovní teplota spolu s rychlostí ohřevu a ochlazení vyvolá nerovnoměrnou plastickou deformaci jednotlivých povrchových vrstev, popř. jejich fázovou transformaci. Styková teplota broušení, jejíž hodnota se pohybuje v rozsahu 200- 1000°C, působí po dobu jednotek ms až desítek ms a její vliv zasahuje do hloubky až několika desetin mm. Mechanický vliv normální řezné síly na kvalitu povrchu není tolik významný a je teplotou broušení často eliminován.



Obr. 2.7. Příčiny ovlivnění kvality povrchu
při broušení [1]

- 1- vazba
- 2- tříska
- 3- chlazení



Obr. 2.8. Kolmý řez povrchovou
vrstvou nelegované oceli [1]

- 1- kontaminovaná vrstva
- 2- amorfní vrstva
- 3- mikrokrytalická struktura
- 4- čára 5% tlakové izobary
- 5- jemnozrnná struktura
- 6- základní struktura



2.3. Shrnutí teoretické části

Pojmem integrita povrchu se rozumí souhrn vlastností popisující vlastnosti obrobené plochy. Nejčastěji sledované parametry integrity obrobené plochy jsou drsnost povrchu, mikrotvrdost a průběh napětí v povrchové vrstvě.

Zlepšit integritu povrchu po broušení můžeme několika různými způsoby. Nejvýznamnější z nich je použití vhodného procesního média, díky němuž jsme schopni nejefektivněji zlepšit kvalitu obrobené plochy po procesu broušení.

Pomocí správně zvolené procesní kapaliny při broušení jsme schopni snížit náklady a zvýšit objem výroby při současném dodržení kvality.

PRAKTICKÁ ČÁST

3. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ

3.1. Použité přístroje

Broušení jsem prováděl na vodorovné rovinné brusce BPH 20 v dílnách KOM. Pro správný přívod kapaliny do místa řezu jsem použil externí čerpací jednotku. Ke stanovení správné koncentrace procesní kapaliny mi posloužil ruční refraktometr RLC 0-18% Brix. Dále k vyhodnocování drsnosti byl použit laboratorní profiloměr Mitutoyo SV-2000 v kombinaci s programem Surfpack.

3.1.1. Vodorovná rovinná bruska BPH 20

Stroj byl navržen k přesnému broušení rovinných ploch jak v kusové tak i sériové výrobě. Vřeteník s vodorovným brusným vřetenem se dá strojně nebo mikrometricky ručně svisle přestavovat. Svislý přísuv do řezu je ruční a hydraulický. Brousící vřeteno je uloženo ve stavitelných ložiskách s třibodovým stykem. Pracovní stůl je uložen na vodicích plochách příčných saní, posuvných na vedení stojanu. Podélný posuv stolu je hydraulický, plynule řiditelný nebo ruční. Hrubé přestavení příčných saní je ruční. Příčný posuv je pro oba směry podávání řízený hydraulicky v jedné nebo v obou úvratích pracovního stolu. Pomocí stavitelných narážek, které nám mění směr pohybu stolu, jsme schopni nastavit podélný pohyb stolu. Vždy když stůl dojde do úvratě nastavené zarážkou, změní se pohyb stolu na opačnou stranu. Ovládání elektromotorů je umístěno na panelu, to nám zajišťuje jednoduché a rychlé ovládání stroje. Na této brusce jsme schopni brousit i zapichovacím způsobem.



Obr. 3.1. Vodorovná rovinná bruska BPH 20



Technické údaje:

Upínací deska stolu	mm	200x630
Největší hmotnost obrobku	kg	140
Brusný kotouč: průměr x šířka x vrtání	mm	250 x 20 x 76
Nejmenší průměr brusného kotouče	mm	130
Podélný pohyb stolu	mm	630
Příčný pohyb stolu	mm	220
Svislý pohyb brousícího vřetená	mm	350
Rychlost podélného pohybu stolu	m min ⁻¹	0-18
Příčný posuv stolu	mm	0,5-6
Svislý přísuv: ruční (na 1 dílek stupnice)	mm	0,01
hydraulický	mm	0,01-0,05
Otáčky brousícího vřetená	min ⁻¹	2500, 3600
Elektromotor brusného vřeteníku	kW	1,5
Elektromotor pro svislý pohyb brousícího vřetená	kW	0,37
Elektromotor pro pohon hydraulického agregátu	kW	1,5
Celkový příkon stroje	kW	4,6
Množství oleje pro hydraulický pohon	l	45
Rozměry stroje: délka x šířka x výška	mm	2460 x 1350 x 1480
Hmotnost stroje	kg	1380

Výrobce:

Povážské strojírny,
Povážská Bystrica

3.1.2. Brusný kotouč

Při našem experimentu byl k broušení použit brusný kotouč s označením **A99B 25 K8V**. Jedná se o kotouč vyrobený z umělého korundu (oxid hlinitý: Al_2O_3). Kotouče s označením 99A jsou bílé barvy. Zrnitost byla v našem případě 25. Tvrdost zrn K, jedná se o měkké pojivo. Pórovitá struktura 8, kde objem pórů je 35%. Na kotouči je použito keramické pojivo.

3.1.3. Ruční refraktometr RLC ATC K71901

Refraktometr je přístroj pro měření indexu lomu. Jejich principem je zjišťování mezního úhlu lomu.

Ruční refraktometr RLC ATC K71901 je nástroj sloužící k jednoduchému a rychlému určení koncentrace procesních kapalin. Procesní kapalina musí být dobře mísitelná s vodou. Stupnice refraktometru je ve stupních Brix (celková koncentrace všech látek rozpuštěných ve vodě, uváděné v procentech).

Tento typ refraktometru je schopen měřit koncentrace v rozmezí 0 až 18% Brix.



Obr. 3.2. Refraktometr RLC

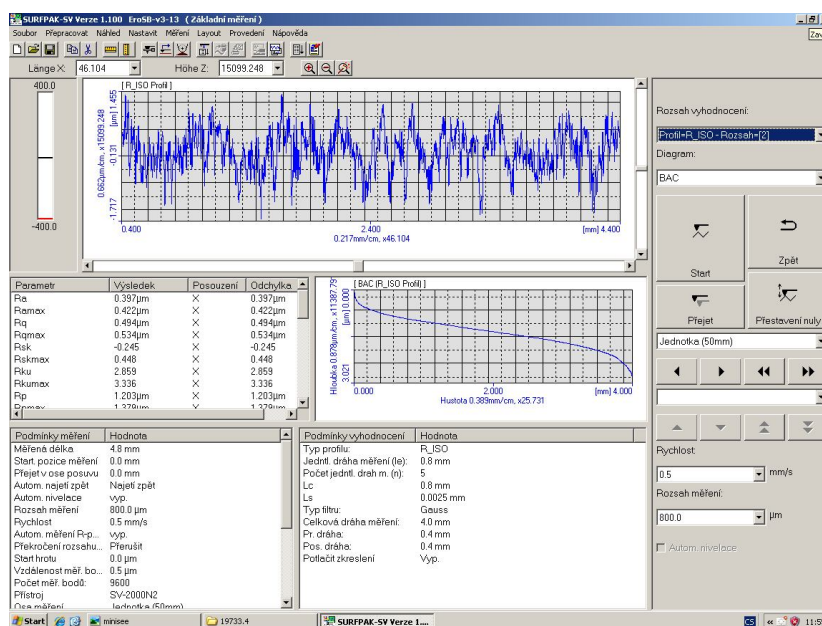
3.1.4. Laboratorní profiloměr Mitutoyo SV-2000 + Surfpack

Za pomoci laboratorního profiloměru Mitutoyo, elektrické jednotky a programu Surfpack jsem byl schopen měřit střední aritmetickou úchytku posuzovaného profilu.

Tento indukční systém je navržen pro měření výškových a délkových parametrů drsnosti povrchu. Program Surfpack v. 1.1 je navržen pro ovládání profiloměru a zpracování vstupních dat. Prostředí programu a ovládání je grafické.



Obr. 3.3. Laboratorní profiloměr Mitutoyo SV-2000



Obr. 3.4. Prostředí programu SURFPAK

3.1.5. Čerpací jednotka EmP

Vzhledem k tomu, že práce je zaměřená na zkoumání procesních kapalin a častá výměna jedné kapaliny za druhou bude nezbytná, rozhodl jsem se pro přívod kapaliny použít externí čerpací jednotku. Díky této jednotce bude výměna procesního média mnohem rychlejší a snadnější.

Procesní kapalina byla aplikována do místa řezu díky chladicímu zařízení s čerpadlem a elektromotorem.

Technické údaje:

Typ	-	9CPP1-22H
Napětí	V	230
El. proud	A	0,35
Výkon	W	65
Krytí	IP	54
Tlak	kPa	20
Průtok	l/s	0,27
Rok výroby	-	2007



Obr. 3.5. Čerpací jednotka EmP

3.2. Navržení metodiky

Abych mohl stanovit správnou metodiku porovnávání procesních kapalin, bylo nutné zkušební vzorky brousit několika různými způsoby a dle naměřených výsledků určit, který ze způsobů je nejvhodnější k porovnávání.

S ohledem na to, že v České republice je nejběžnější pro hodnocení drsnosti povrchu střední aritmetická úchylka R_a , zvolil jsem hodnotu R_a jako určující parametr pro porovnání kapalin. Pro navržení metodiky zkoumání vlivu procesních kapalin jsem se rozhodl zkušební vzorky brousit těmito dvanácti různými způsoby:

č. pokusu	hloubka záběru a_p (mm)	s vyjiskřením & bez vyjiskření	s kapalinou & bez kapaliny
1	$a_p = 0,01$ mm	S vyjiskřením	KAPALINA
2	$a_p = 0,02$ mm	S vyjiskřením	KAPALINA
3	$a_p = 0,03$ mm	S vyjiskřením	KAPALINA
4	$a_p = 0,01$ mm	BEZ vyjiskření	KAPALINA
5	$a_p = 0,02$ mm	BEZ vyjiskření	KAPALINA
6	$a_p = 0,03$ mm	BEZ vyjiskření	KAPALINA
7	$a_p = 0,01$ mm	S vyjiskřením	NA SUCHO
8	$a_p = 0,02$ mm	S vyjiskřením	NA SUCHO
9	$a_p = 0,03$ mm	S vyjiskřením	NA SUCHO
10	$a_p = 0,01$ mm	BEZ vyjiskření	NA SUCHO
11	$a_p = 0,02$ mm	BEZ vyjiskření	NA SUCHO
12	$a_p = 0,03$ mm	BEZ vyjiskření	NA SUCHO

Tab. 3.1. Způsoby broušení vzorků

Tabulka ukazuje různé způsoby broušení vzorků. Jako první kritérium bylo vybrat správnou hloubku záběru a_p . Proto jsem vzorky brousil se třemi různými hloubkami záběru a to s hloubkou záběru 0,01 mm, s hloubkou záběru 0,02 mm a hloubkou záběru 0,03 mm. Větší hloubka záběru jsem s ohledem na parametry stroje a bezpečnost práce nezkoušel. Dalším kritériem bylo určit, zda brousit vzorky s vyjiskřením či bez vyjiskření. Zkoumat rozdíl za použití procesní kapaliny či za sucha bylo dalším kritériem.

Pro první sadu byla použita konstrukční ocel 12050.1. Aby byla zaručena správnost navržené technologie, tak jsem zkoumal vliv kapalin i na oceli 14100.4 a na oceli 19733.4

Jako procesní kapalinu při návržení metodiky jsem zvolil procesní kapalinu Paramo ERO SB, která má široké spektrum použití (viz kapitola 4.3.).

S ohledem na statické hledisko jsem měřil střední aritmetickou odchylku R_a na deseti různých místech. Před broušením každé ze sad vzorků byl orovnnán brusný kotouč. Tím byly zaručeny stejné podmínky.

3.3. Výsledky naměřených hodnot při navrhování metodiky

Tabulky:

Zde je ukázka tabulek obsahující hodnoty naměřených drsností při různých způsobech broušení. Kompletní sada tabulek je umístěna v přílohách.

NA SUCHO bez vyjiskření												
12 050.1		R_a (μm)										
a_p (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{\varnothing}$
0,01	A4	0,55	0,488	0,498	0,551	0,607	0,474	0,573	0,434	0,62	0,454	0,525
0,02	A5	0,546	0,538	0,532	0,563	0,53	0,421	0,532	0,477	0,553	0,617	0,531
0,03	B1	0,683	0,608	0,615	0,572	0,527	0,598	0,578	0,574	0,509	0,51	0,577

Tab. 3.2. Naměřené hodnoty drsnosti na sucho bez vyjiskření, ocel: 12 050.1

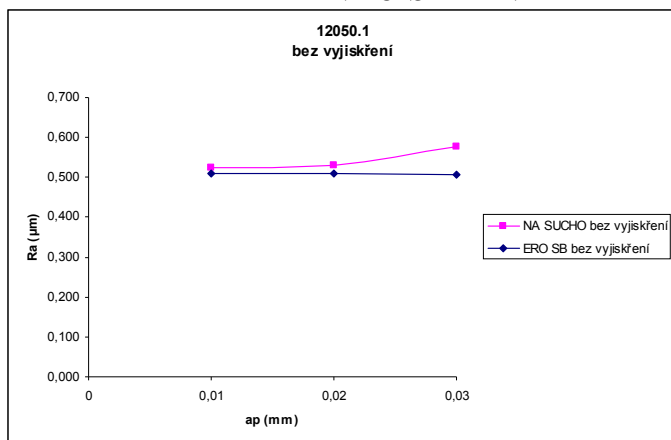
ERO SB bez vyjiskření												
14 100.4		R_a (μm)										
a_p (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{\varnothing}$
0,01	5	0,458	0,483	0,387	0,482	0,474	0,469	0,481	0,494	0,364	0,462	0,455
0,02	4	0,361	0,463	0,484	0,479	0,434	0,483	0,553	0,572	0,499	0,33	0,466
0,03	1	0,48	0,464	0,41	0,521	0,578	0,478	0,35	0,544	0,461	0,478	0,476

Tab. 3.3. Naměřené hodnoty drsnosti ERO SB bez vyjiskření, ocel: 14 100.4

Pro každý druh konstrukční ocele jsou zpracovány čtyři různé tabulky lišící se způsobem broušení. Každá tabulka je specifická jedním druhem ocele, a způsobem broušení zda je použita procesní kapaliny či nikoli. Každý řádek reprezentuje jednu hloubku záběru a_p a obsahuje deset naměřených hodnot střední aritmetické úchyly posuzovaného profilu R_a . V posledním sloupci je uvedena průměrná hodnota naměřených hodnot. Aby nedošlo k zaměnění vzorků, je vždy v tabulce uvedeno i číslo měřeného vzorku.

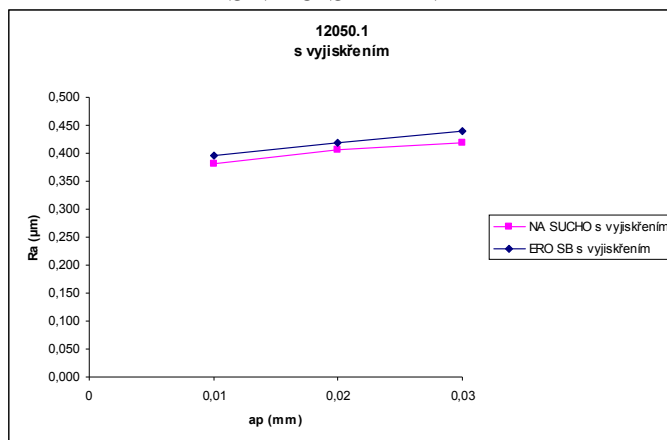
Grafy:

BEZ VYJISKŘENÍ

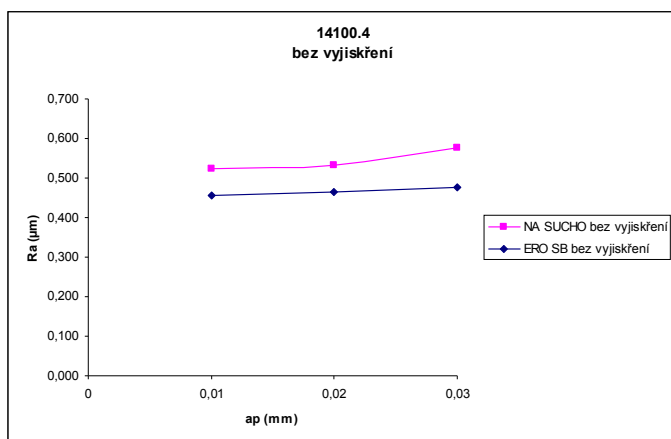


Graf 3.1. Závislost R_a na hloubce záběru a_p při broušení bez vyjiskření, ocel: 12 050.1

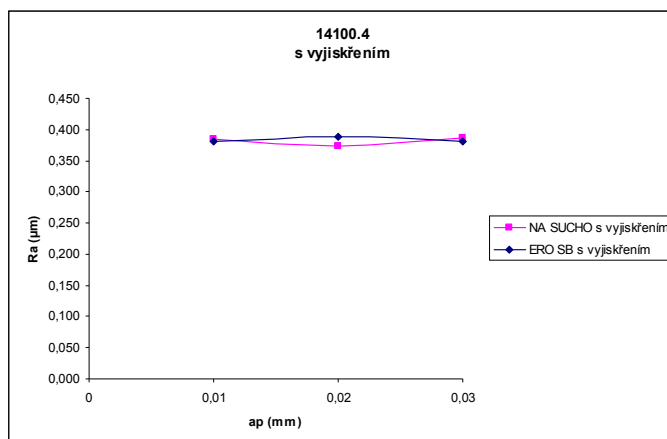
S VYJISKŘENÍM



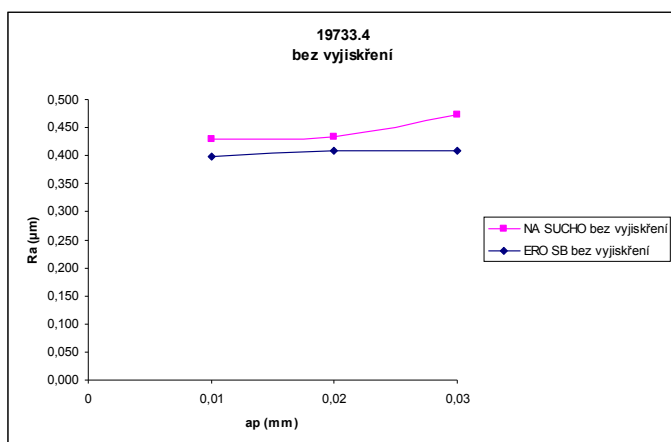
Graf 3.2. Závislost R_a na hloubce záběru a_p při broušení s vyjiskřením, ocel: 12 050.1



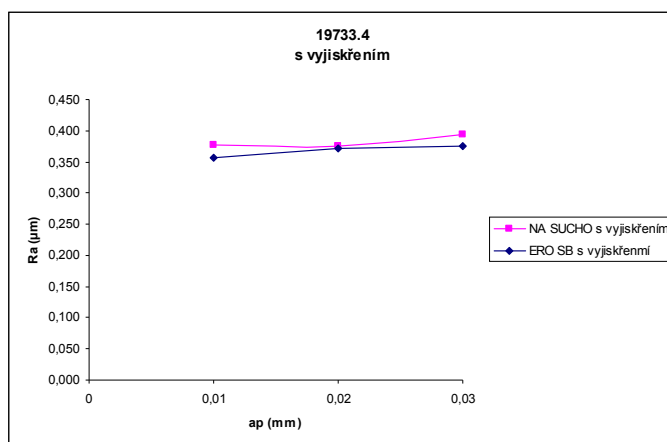
Graf 3.3. Závislost R_a na hloubce záběru a_p při broušení bez vyjiskření, ocel: 14 100.4



Graf 3.4. Závislost R_a na hloubce záběru a_p při broušení s vyjiskřením, ocel: 14 100.4



Graf 3.5. Závislost R_a na hloubce záběru a_p při broušení bez vyjiskření, ocel: 19 733.4



Graf 3.6. Závislost R_a na hloubce záběru a_p při broušení s vyjiskřením, ocel: 19 733.4

Všechny grafy znázorňují závislost průměrné aritmetické úchylka posuzovaného profilu- R_a (μm) na hloubce záběru- a_p (mm).

Vlevo jsou grafy znázorňující rozdíl při broušení za sucha a s použitím kapaliny a to vše bez vyjiskření. Oproti tomu jsou vpravo grafy znázorňující rozdíl při broušení za sucha a s použitím kapaliny a to vše s vyjiskřením.

Při porovnání grafů bez vyjiskření a s vyjiskřením je zřejmé, že při broušení bez vyjiskření je značný rozdíl při použití procesní kapaliny. Naopak při broušení s vyjiskřením je rozdíl drsností minimální.

3.4. Závěr kapitoly

Při porovnání grafů bez vyjiskření a s vyjiskřením je zřejmé, že při broušení bez vyjiskření je značný rozdíl při použití procesní kapaliny. Naopak při broušení s vyjiskřením je rozdíl drsností minimální.

Z grafů nalevo je také zřejmé, že největší rozdíl nastává při hloubce záběru 0,03 mm. Zde právě nastává větší citlivost metodiky. Dovolím si tvrdit, že kdybychom zvětšili hloubku záběru, zvětšila by se i citlivost. S ohledem na parametry stroje a bezpečnost práce jsem tento pokus raději neprováděl.

Pro porovnávání procesních kapalin je za daných podmínek nejvhodnější zkoušet kapaliny při broušení bez vyjiskření a s hloubkou záběru 0,03 mm.



4. REALIZACE EXPERIMENTŮ

4.1. Popis použitých materiálů

Jak pro navržení metodiky, tak pro porovnání procesních kapalin jsem experiment prováděl na třech druzích ocelí. Na oceli třídy 12, oceli třídy 14 a třídy 19.

4.1.1. Ocel 12 050.1

Konstrukční ocel nelegovaná určená k zušlechťování a povrchovému kalení.

Použití:

Hřídele turbokompresorů, čerpadel, šneky, větší ozubená kola, klikové hřídele, ojnice, páky řízení, závěsy, pružiny, čepy,...

4.1.2 Ocel 14100.4

Ocel je dobře obrobitelná a tvářitelná za tepla.

Použití:

Kuličky ložisek, válečky, kuželíky, kroužky valivých ložisek,...

4.1.3. Ocel 19 733.4:

Chrom - wolfram - křemíková ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji. Velmi dobrá houževnatost při poměrně vysoké tvrdosti, velmi dobrá odolnost proti dynamickému střídavému namáhání, velká řezivost při stříhání a odolnost proti opotřebení, nárazům a úderům, zvýšená stálost proti popouštění a zvýšená pevnost za tepla, dobrá tvárnost za tepla a dobrá obrobitelnost v žíhaném stavu.

Použití:

Nástroje pro stříhání za studena-přestřihovací, prostřihovací, ostřihovací a děrovací nástroje, nože nůžek pro stříhání materiálů větších tloušek a vyšší pevnosti, frézy, loupací a sekací nože na dřevo, sekáče do pneumatických kladiv na ocel vyšší pevnosti a na čištění odlitků, nástroje pro ražení a protlačování, značkovací, razidla na materiály vyšší pevnosti, vtlačovací trny,...

ocel	C	Mn	Si	Cr	Ni max	P max	S max	HB max
12 050	0,42-0,5	0,5-0,8	max 0,4	max 0,4	0,4	0,045	0,045	208
14100	0,98-1,1	0,25-0,45	0,15-0,35	1,3-1,6	-	0,025	0,025	225
19 733	0,52-0,62	0,15-0,4	0,8-1,2	0,9-1,2	0,35	0,03	0,035	230

Tab. 4.1. Složení použitých ocelí

4.2. Příprava vzorků z materiálu 12050.1

Zbylé dva materiály byly pouze přebroušeny, jelikož jiná příprava vzhledem k rozměru vzorku nebyla nutná.

4.2.1. Řezání materiálu

Prvním krokem k přípravě vzorků bylo řezání materiálu na pile. V našem případě byla použita okružní pila PILOUS TMJ.

Materiál byl upnut ve svěráku, nastavili jsme doraz a vzorky řezaly na určitý rozměr pomocí pilového plátku (rozměr: 3110x27x0,9). Během řezání docházelo k chlazení místa řezu kapalinou.



Obr. 4.1. Okružní pila PILOUS



Obr. 4.2. Detail řezání

4.2.2. Frézování

Po dokončení řezání jsem všechny vzorky oboustranně ofrézoval na universální frézce FNG 32.

Materiál byl opět upnut ve svěráku v sadě třech kusů. K ofrézování byla použita čelní fréza s pěti vyměnitelnými břitovými destičkami. Vzorky byly ofrézovány na jedno přjetí s hloubkou záběru 1mm.



Obr. 4.3. Universální frézka



Obr. 4.4. Detail frézování

4.2.3. Odjehlení

Dále jsem musel všechny vzorky ručně odjehlít. Vzorek byl vždy po jednom upnut ve svěráku a všechny hrany vzorku byly sraženy cca 0,5x45°.

4.2.4. Značení

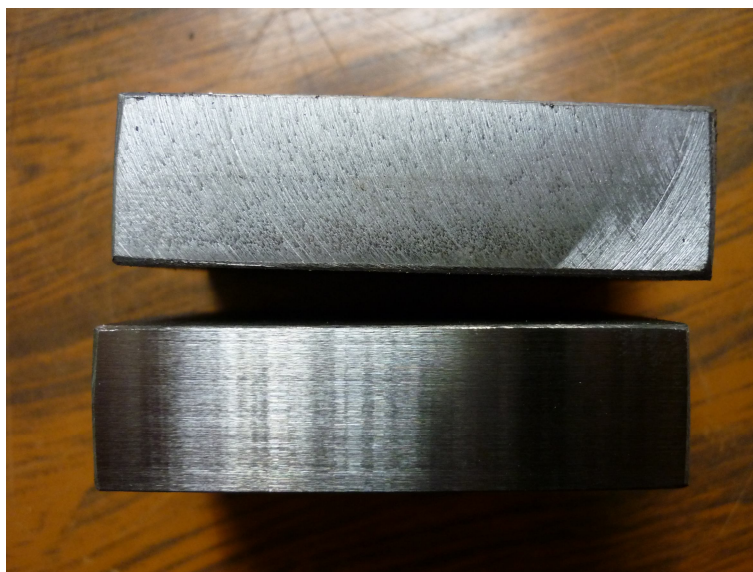
Když byly všechny vzorky takto připraveny, došlo k označení vzorků razidly. Opět byl vzorek upnut ve svěráku a na jednu stranu byl vyražen materiál a číslo vzorku. Materiál, který se při ražení tzv. vytlačil, byl opět zapilován.



Obr. 4.5. Označení vzorků

4.2.5. Předbroušení

Následovala další příprava vzorků na rovinné brusce BPH 20. Zde byly všechny vzorky tzv. na sucho předbroušeny. Upnutí vzorků bylo provedeno pomocí magnetické desky, hloubka záběru byla 0,02 mm. Poslední přejetí bylo s vyjiskřením.



Obr. 4.6. Vzorek po frézování a po přebroušení

4.3. Popis použitých procesních kapalin

Procesní kapalina, dříve nazývaná také jako obráběcí nebo řezná kapalina, je chladicí a mazací prostředek pro obrábění kovů. Odvádí teplo z řezu, snižuje třecí odpor, odplavuje třísky a slouží ke zvětšení trvanlivosti nástrojů a ke zlepšení jakosti obráběného povrchu. Procesní kapalina musí být zdravotně nezávadná a nekorozivní.

Základem chladicích kapalin neboli emulze je voda, do níž se přidávají látky zvětšující smáčivost a zabraňují korozi. Většinou se používá emulzních kapalin, tj. emulzí olejů ve vodě, které mají mimo chladicí i určitý účinek mazací.

4.3.1. Paramo ERO-SB

Tato kapalina slouží pro obráběcí operace prováděné jak moderních NC a CNC centrech tak na konvenčních strojích. Vyhovuje pro třískové operace při obrábění ocelí, litin neželezných kovů a jejich slitin. Má vynikající vlastnosti zejména při obrábění materiálů se zhoršenou obrobiteľností, zejména lehkých slitin. Při operaci broušení se doporučuje míchat procesní kapalinu na spodní hranici koncentrace (tj. 3 %). Její vynikající mazací vlastnosti jsou využitelné i při operacích tváření plechů. Zvládá i hluboké tažení plechů a to zejména hlubokotažných do tloušťky cca 1,5 mm.

4.3.2. Paramo ERO-AW

Tento produkt společnosti Paramo je navržen pro obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu. Použití je především při operacích typu soustružení, frézování, vrtání a to jak na NC a CNC strojích tak i na konvenčních strojích. Správně namíchaný roztok lze použít jako procesní médium při obrábění ocelí, litin, neželezných kovů a jejich slitin. Kapalina dobře odvádí teplo z místa řezu, má dobré mazací schopnosti.

4.3.3. Paramo EOPS UNI

Tato kapalina je určena pro obráběcí operace prováděné jak moderních NC a CNC centrech tak na konvenčních strojích. Jak již z názvu kapaliny plyne, kapaliny má široké spektrum použití. S touto kapalinou lze obrábět cele, litiny, neželezné kovy a jejich slitiny. Při vysoké koncentraci (kolem 7%) lze obrábět i materiály se zhoršenou obrobitelností a to např. i při výrobě závitů a dalších složitých obráběcích operací. Naopak při operaci broušení se doporučuje nízká koncentrace, a to kolem 3 až 5 %.

4.3.4. Paramo SK 220

Tato kapalina byla vyvinuta pro obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií. Bez problému lze však s touto kapalinou provádět operace, kde se pracuje s nástroji s přesně definovanou geometrií. Toto použití je však omezeno na obrábění materiálů s přirozenou mazivostí. Při obrábění broušením je její použití vhodné pro tepelně zpracované i tepelně nezpracované oceli. Při obrábění tepelně zpracovaných dílů se právě projeví ideální vlastnosti této kapaliny.

4.3.5. Cimcool CIMSTAR 598

Tento koncentrát byl vyvinut především jako procesní médium k broušení různých druhů ocelí, litin, neželezných kovů a jejich slitin. Hlavní složkou této kapaliny je minerální olej. Koncentrát obsahuje jak anionické a neionogenní emulgátory, tak organické a anorganické korozní inhibitory sloužící k ochraně stroje a obrobků před korozi. Přípravek nedráždí pokožku, pokud se používá v doporučené koncentraci.

4.3.6. Triga DIOL

Tento koncentrát je určen především k přípravě kapalin k broušení litin, ocelí, neželezných kovů a jejich slitin, pro broušení slinutých karbidů nástrojů. Hlavní předností této kapaliny je chladičí a vyplachovací schopnost zejména při hrubovacích operacích. Kapalina obsahuje aditivní přísady, které využijeme při dosahování vysoké rozměrové přesnosti a jakosti povrchu při broušení SK materiálů. Obsahuje i inhibitory koroze, které zaručují dokonalou ochranu při obrábění i při skladování obrobků. Velkou výhodou této kapaliny je její rozpustnost i v tvrdé vodě bez jakýchkoli dalších úprav. Kapalina představuje stabilní roztok s mnohonásobně vyšší životností než u ropných emulzí.

4.4. Příprava chladicí kapaliny

Jak již z názvu plyne, je tato práce zaměřená na zkoumání procesních kapalin, a proto je důležitá správná příprava každého vzorku.

Vzorky provozních kapalin byly míchány v plastových kanistrech. Koncentrace vzorků byla $4 \pm 0,5\%$. Přípravu obráběcí kapaliny je nutné provádět tak, aby byl emulgační olej za stálého míchání přiléván do vody, ne opačně! Všechny vzorky byly míchány dle aplikačních listů každé z kapalin tak, aby kapalina měla nejlepší vlastnosti pro danou operaci. Tyto koncentrace se několikrát opakovaně přeměřovali pomocí ručního refraktometru RLC.

4.4.1. Měření s refraktometrem

Jako první odklopíme víčko refraktometru, očistíme hranol speciálním hadříkem a kápneme na něj 1-2 kapky vzorku. Refraktometr namíříme na zdroj světla a v okuláru odečteme hodnotu ze stupnice. Pokud je obraz rozmazaný, pootočíme okulárem doleva či doprava, tak aby byl obraz dobře čitelný.

Víčko opět odklopíme a vysušíme hranol i víčko. Tímto je refraktometr připraven k dalšímu použití.

4.4.2. Kalibrace refraktometru

Aby byla zaručena správná funkce refraktometru, je nutná jeho kalibrace a její následné kontrolování.

Kalibraci provádíme pomocí destilované vody, kterou kápneme na hranol místo procesní kapaliny. Rozhraní musí být na stupnici na úrovni nuly. Pokud není, je nutné posunutí pomocí šroubku umístěného z boku refraktometru.

Aby bylo zaručené správné měření, je nutné toto kontrolovat před každým použitím refraktometru.



4.4.3. Měření pH:

Jak správná koncentrace procesní kapaliny, tak i hodnota pH je důležitým kritériem určující správný stav kapaliny.

Hodnota pH procesních kapalin by se měla pohybovat od 8 do 9,5. Pokud je nižší, dochází v kapalině k přemnožení bakterií a kapalina tím ztrácí své konzervační vlastnosti. Vyšší pH zase není vhodné z hlediska bezpečnosti zdraví a z hlediska ochrany stroje. Kapalina může dráždit pokožku, způsobovat zánět dýchacích cest ale může i poškozovat nátěry strojů, způsobit rezivění barevných kovů, atd. Jednou z nejjednodušších a nejčastěji používaných metod měření pH je pomocí indikátorových papírků.

5. HODNOCENÍ OBROBENÝCH SOUČÁSTÍ A POROVNÁNÍ Vlivu JEDNOTLIVÝCH PROCESNÍCH KAPALIN NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY

5.1. Průběh experimentu

Při porovnání různých procesních kapalin jsem s ohledem na výsledek navrhované metodiky brousil vždy každou sadu vzorků s hloubkou záběru $a_p = 0,03\text{mm}$ bez vyjiskření za stálého konstantního posuvu. Otáčky brousícího kotouče byly vždy 2500ot/min. Jediný parametr, který se v experimentu měnil, byla procesní kapalina. Všechny kapaliny měly koncentraci $4 \pm 0,5\%$. Kapalina byla přiváděna do místa řezu pomocí externí čerpací jednotky vždy ve stejném průtočném množství.

Aby byla zaručena správnost, byla vždy přebroušena jedna sada vzorků tj. 5 kusů, při stejných podmínkách. Vyhodnocení drsnosti bylo prováděno na 10 různých místech každého vzorku. Hodnoty jsem zanesl do tabulky a následně zprůměroval. Výsledkem střední aritmetické úchylnosti posuzovaného profilu je střední hodnota a její odchylka.

5.2. Výsledky naměřených hodnot při porovnání procesních kapalin

Tabulky: Zde je ukázka tabulek obsahující hodnoty naměřených drsností při porovnání procesních kapalin. Kompletní sada tabulek je umístěna v přílohách.

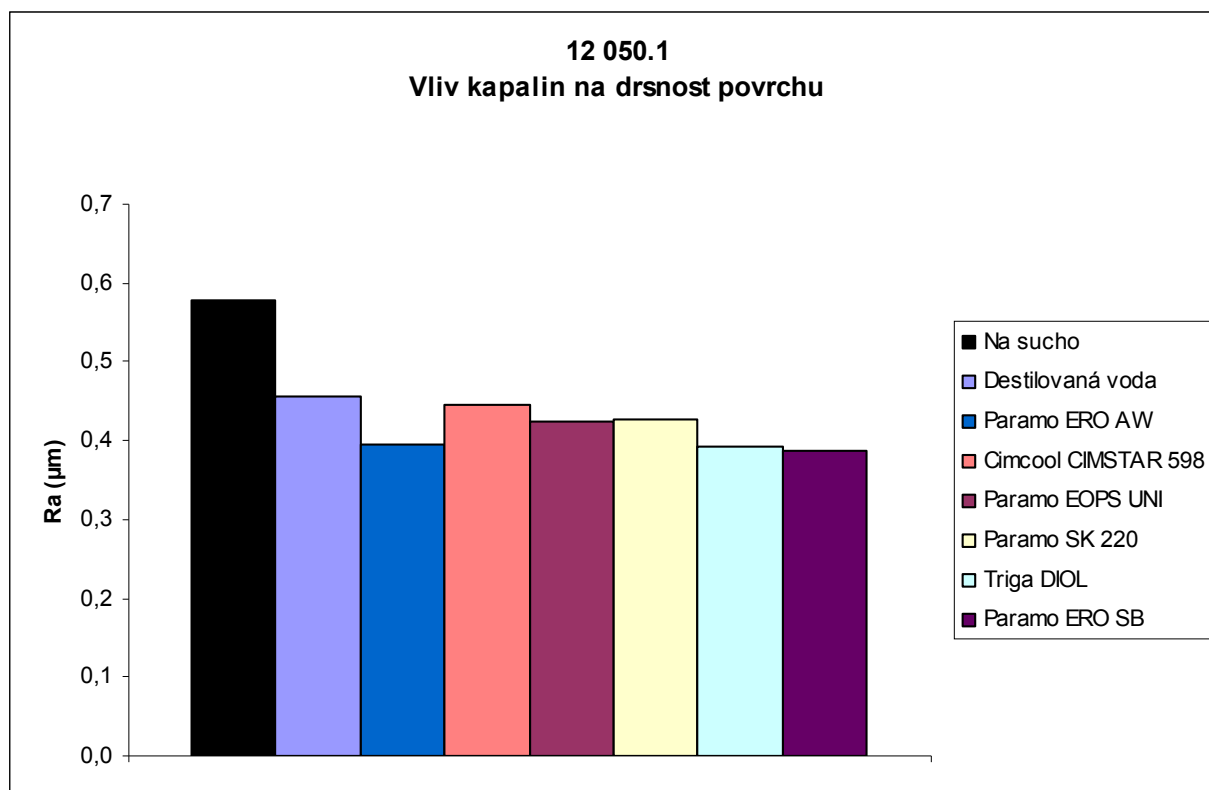
TRIGA DIOL											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{\sigma}$
D1	0,389	0,433	0,406	0,422	0,409	0,409	0,407	0,406	0,344	0,39	0,402
D2	0,396	0,415	0,397	0,415	0,407	0,401	0,405	0,415	0,373	0,357	0,398
D3	0,403	0,408	0,399	0,414	0,377	0,405	0,372	0,412	0,354	0,38	0,392
D4	0,365	0,373	0,422	0,4	0,404	0,417	0,415	0,428	0,386	0,378	0,399
D5	0,352	0,345	0,376	0,343	0,357	0,357	0,384	0,408	0,404	0,38	0,371
stř. hodnota	0,392\pm0,021										0,392

Tab. 5.1. Naměřené hodnoty drsnosti Triga DIOL; ocel: 12 050.1

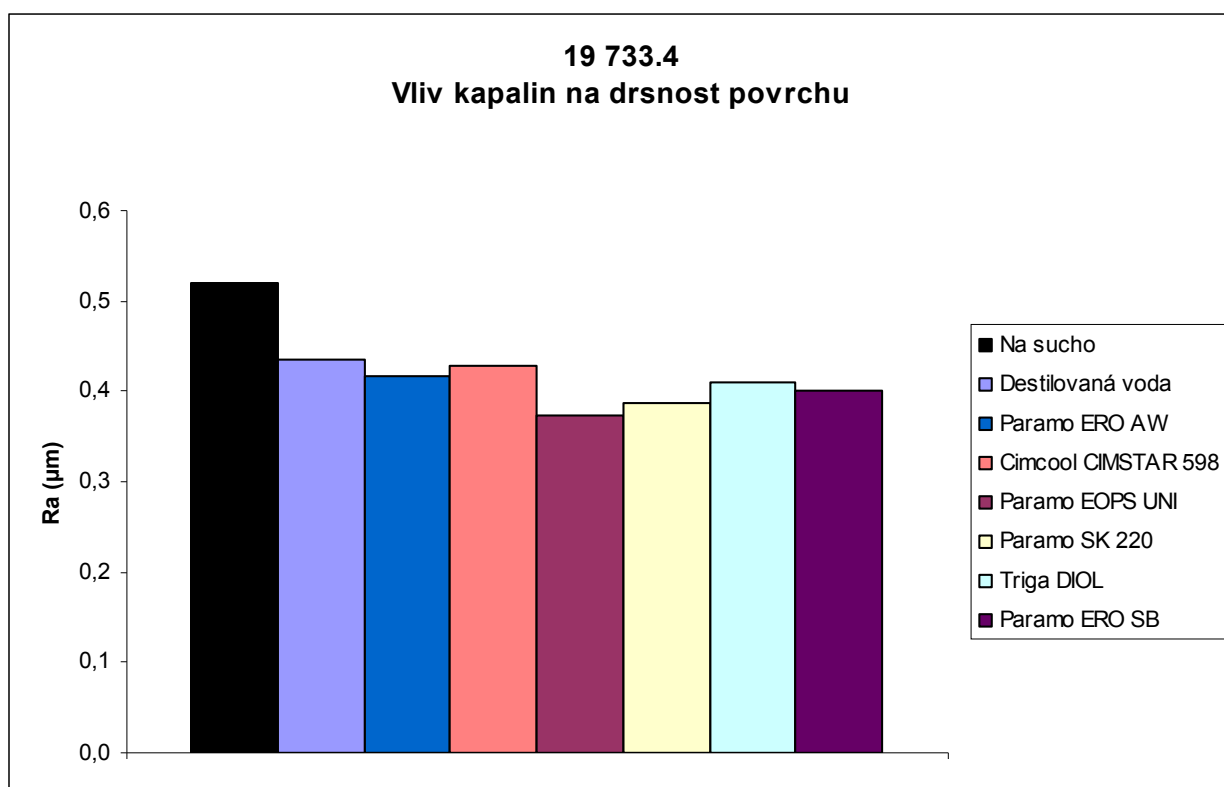
CIMCOOL CIMSTAR 598											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{\sigma}$
F1	0,469	0,439	0,477	0,442	0,466	0,474	0,49	0,458	0,469	0,46	0,464
F2	0,448	0,455	0,454	0,458	0,471	0,449	0,46	0,454	0,457	0,456	0,456
F3	0,47	0,414	0,47	0,455	0,434	0,449	0,463	0,408	0,444	0,448	0,446
F4	0,39	0,404	0,407	0,415	0,415	0,427	0,428	0,477	0,408	0,444	0,422
F5	0,427	0,434	0,41	0,417	0,477	0,454	0,483	0,476	0,44	0,389	0,441
stř. hodnota	0,446\pm0,024										0,446

Tab. 5.2. Naměřené hodnoty drsnosti Cimcool CIMSTAR 598; ocel: 12 050.1

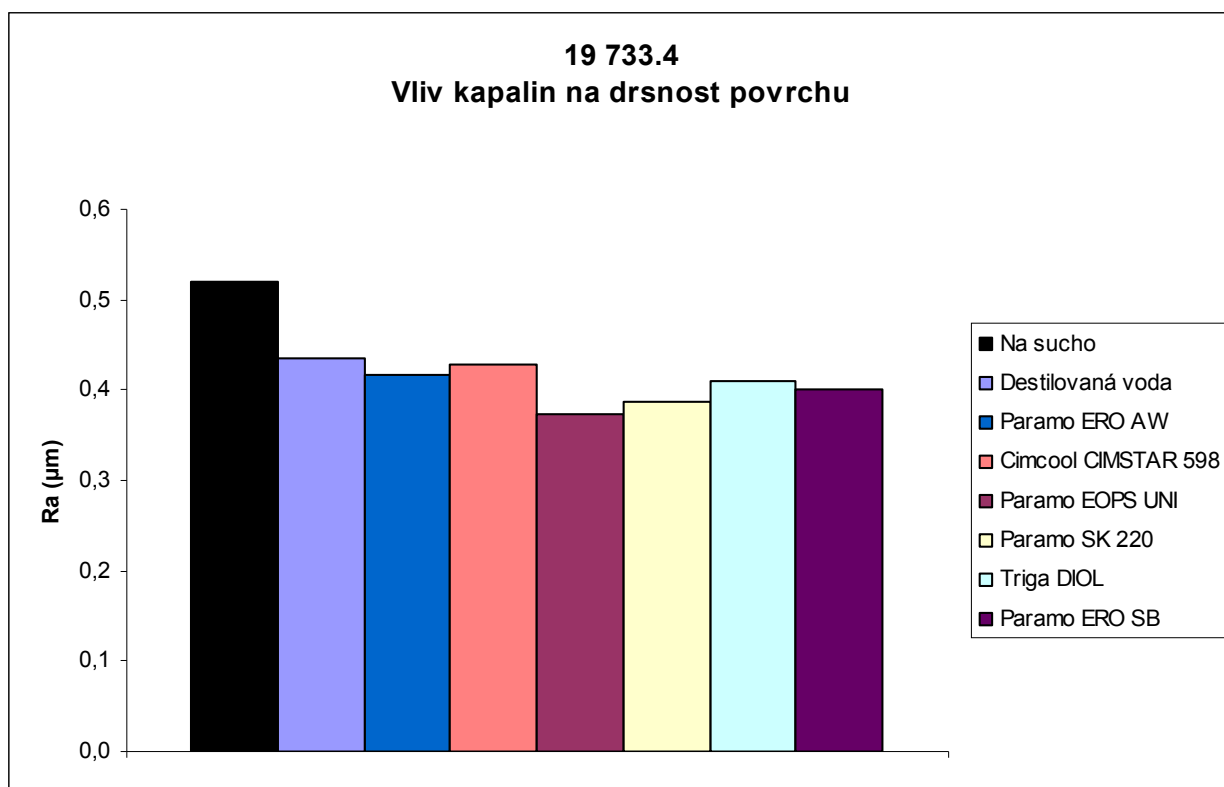
Grafy:



Graf 5.1. Vliv kapalin na drsnost povrchu; ocel: 12 050.1



Graf 5.2. Vliv kapalin na drsnost povrchu; ocel: 14 100.4



Graf 5.3. Vliv kapalin na drsnost povrchu; ocel: 19 733.4

Tyto tři sloupkové grafy ukazují rozdílné vlastnosti posuzovaných kapalin. Vyhodnocujícím parametrem je střední aritmetické odchyldy posuzovaného profil R_a (μm).

Jak je z grafu patrné, vždy největší hodnota střední aritmetické odchyldy posuzovaného profil R_a (μm) byla naměřena u vzorku broušeného na sucho. Dovolím si tvrdit, že i vnitřní pnutí ve vzorku broušeným na sucho bude značně veliké oproti vzorku, broušeném za použití procesní kapaliny.

U všech tří zkoušených ocelí je na druhém místě s hodnotou R_a pohybující se okolo $0,43 \mu\text{m}$ destilovaná voda. Ta plní požadavky tím, že odvádí část tepla vzniklého při broušení, odplavuje vzniklé třísky a odlomené části zrn kotouče ale není plně konkurence schopná procesním kapalinám, jelikož díky svému složení nedokáže snížit tření v místě řezu jako procesní kapaliny.

<i>kapalina</i>	<i>zlepšení Ra (%)</i>
Paramo EOPS UNI	29
Paramo ERO SB	28
Paramo SK 220	27
Triga DIOL	27
Paramo ERO AW	25
Cimcool CIMSTAR 598	22
Destilovaná voda	21

Tab. 5.3. Srovnání procesních kapalin

Tabulka 5.3. ukazuje průměrné zlepšení střední aritmetické odchylky posuzovaného profilu Ra oproti broušení bez procesní kapaliny.

Při použití procesní kapaliny dosahujeme v průměru o 22 až 29 % lepší drsnosti povrchu oproti broušení na sucho.

	12 050.1	14 100.4	19 733.4
	<i>Ra (μm)</i>		
Na sucho- s vyjiskřením	0,419	0,386	0,393
Kapalina- bez vyjiskření	0,387	0,379	0,373

Tab. 5.4. Dosahované drsnosti

Tabulka 5.4. ukazuje dosahované drsnosti při broušení různých druhů ocelí bez procesní kapaliny s vyjiskřením a při broušení s použitím procesní kapaliny bez vyjiskření.

Jak je z tabulky zřejmé, při broušení s použitím procesní kapaliny bez vyjiskření dosahujeme stejných, ne-li lepších výsledků jakosti povrchu jako při broušení bez použití procesní kapaliny s vyjiskřením. Pokud brousíme s vyjiskřením, musíme přejet obrobek minimálně 5x oproti tomu při broušení bez vyjiskření přejíždíme obrobek pouze 1x.

Na základě tohoto zjištění je zřejmé, že při broušení je vhodné použít procesní kapalinu, ačkoli jsme schopni zvýšit produktivitu broušení až o 400 %.



6. SHRUTÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Úkolem této bakalářské práce bylo získat analýzu vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při broušení konstrukčních ocelí. Využití této analýzy slouží pro zefektivnění výroby a snížení výrobních nákladů při broušení na minimum.

Za tímto účelem jsem nejprve shromáždil dostupné informace o vlivu procesních kapalin při broušení. Na katedře byly dostupné vzorky procesních kapalin od firmy Paramo. Oslovil jsem firmu Cimcool a firmu Triga, které mi poskytli další vzorky pro porovnání. Po té jsem na základě zjištěných skutečností začal navrhopat správnou metodiku a kapaliny dále porovnal.

Abych mohl zpracovat tuto práci, využil jsem zařízení v dílnách katedry obrábění a montáže na fakultě strojní na Technické univerzitě v Liberci.

Jako hlavní stroj pro navržení metodiky a následné porovnání procesních kapalin jsem použil vodorovnou rovinnou brusku BPH 20. Pro přívod kapaliny mi posloužila externí čerpací jednotka EmP. Pokus jsem prováděl na třech různých ocelích třídy 12, 14 a třídy 19. Jako vyhodnocovací veličinu při navrhování metodiky i porovnávání různých procesních kapalin jsem zvolil střední aritmetickou úchylku posuzovaného profilu. Měřil jsem v laboratoři katedry obrábění a montáže na laboratorním profiloměru Mitutoyo SV-2000.

V první části této práce byl zkoumán vliv procesní kapaliny na drsnost povrchu. Na základě dosažených výsledků byla navržená vhodná metodika pro zkoumání vlivu procesních kapalin na kvalitu obrobeného povrchu. V druhé části práce jsem porovnával sedm kapalin od třech různých výrobců doplněných o destilovanou vodu.

Jak bylo v úvodu uvedeno, pozornost byla věnována zpracovatelské operaci broušení a současně byl zvažován vliv uplatnění procesních kapalin při broušení na zvýšení produktivity, zkrácení průběžné doby obrábění a snížení nákladu. Produktivita, průběžná doba výroby i vynaložené náklady jsou rovněž významné ukazatele efektivnosti řízení výroby. Z tohoto pohledu lze konstatovat, že došlo ke zkrácení průběžné doby výroby minimálně o $\frac{3}{4}$ (odpadlo vyjiskření) a zároveň se tím velmi zvýšila produktivita výroby.



7. ZÁVĚR

- 1.) Při porovnávání různých procesních kapalin je nejvhodnější brousit s hloubkou záběru 0,03 mm.
- 2.) Při porovnávání různých procesních kapalin je nejvhodnější brousit bez vyjiskření.
- 3.) Při broušení třech různých ocelí 12050.1; 14100.4; 19733.4 za použití procesní kapaliny se hodnota Ra sníží v průměru o 22-29 %.
- 4.) Všechny kapaliny mají srovnatelný vliv na drsnost povrchu.
- 5.) Abychom docílili drsnosti Ra pohybující se kolem 0,4 μm , stačí při broušení použít správnou procesní kapalinu a není dále nutné obrobek po broušení leštit, lapovat, či honovat.
- 6.) Při použití správného procesní kapaliny jsme schopni zkrátit dobu operace o $\frac{3}{4}$.

Výše uvedené závěry jsou především výsledkem zkoumání technologického procesu při broušení. Dosažené výsledky mají vliv na snížení nákladů, zvýšení produktivity a zkrácení průběžné doby výroby, což jsou významné předpoklady pro efektivní řízení výroby.

Řízení výroby je úzce propojeno s konkrétním výrobním procesem, v kterém vznikají požadované hotové výrobky určené pro zákazníky.

Přestože v této práci není konkrétně stanovena produkce, zákazník ani výrobce tak i přes to, závěry zde uvedené mají velký vztah k řízení výroby.



SEZNAM TABULEK, GRAFŮ A OBRÁZKŮ

Tabulky:

Tab. 2.4. Srovnání dosahovaných drsností

Tab. 3.1. Způsoby broušení vzorků

Tab. 3.2. Naměřené hodnoty drsnosti na sucho bez vyjiskření, ocel: 12 050.1

Tab. 3.3. Naměřené hodnoty drsnosti ERO SB bez vyjiskření, ocel: 14 100.4

Tab. 4.1. Složení použitých ocelí

Tab. 5.1. Naměřené hodnoty drsnosti Triga DIOL; ocel: 12 050.1

Tab. 5.2. Naměřené hodnoty drsnosti Cimcool CIMSTAR 598; ocel: 12 050.1

Tab. 5.3. Srovnání procesních kapalin

Tab. 5.4. Dosahované drsnosti

Grafy:

Graf 3.1. Závislost Ra na hloubce záběru ap při broušení bez vyjiskření, ocel: 12 050.1

Graf 3.2. Závislost Ra na hloubce záběru ap při broušení s vyjiskřením, ocel: 12 050.1

Graf 3.3. Závislost Ra na hloubce záběru ap při broušení bez vyjiskření, ocel: 14 100.4

Graf 3.4. Závislost Ra na hloubce záběru ap při broušení s vyjiskřením, ocel: 14 100.4

Graf 3.5. Závislost Ra na hloubce záběru ap při broušení bez vyjiskření, ocel: 19 733.4

Graf 3.6. Závislost Ra na hloubce záběru ap při broušení s vyjiskřením, ocel: 19 733.4

Graf 5.1. Vliv kapalin na drsnost povrchu; ocel: 12 050.1

Graf 5.2. Vliv kapalin na drsnost povrchu; ocel: 14 100.4

Graf 5.3. Vliv kapalin na drsnost povrchu; ocel: 19 733.4

Obrázky:

- Obr. 1.1. Různě opotřebené destičky ze SK [3]
- Obr. 2.1. Příklad označení brousícího kotouče [2]
- Obr. 2.2. Zrno kotouče v záběru
- Obr. 2.3. Profil povrchu [8]
- Obr. 2.5. Původní Barkhausenovo uspořádání [3]
- Obr. 2.6. Skladba různě ovlivněných povrchových vrstev [1]
- Obr. 2.7. Příčiny ovlivnění kvality povrchu při broušení [1]
- Obr. 2.8. Kolmý řez povrchovou vrstvou nelegované oceli [1]
- Obr. 3.1. Vodorovná rovinná bruska BPH 20
- Obr. 3.2. Refraktometr RLC
- Obr. 3.3. Laboratorní profiloměr Mitutoyo SV-2000
- Obr. 3.4. Prostředí programu SURFPAK
- Obr. 3.5. Čerpací jednotka EmP
- Obr. 4.1. Okružní pila PILOUS
- Obr. 4.2. Detail řezání
- Obr. 4.3. Universální frézka
- Obr. 4.4. Detail frézování
- Obr. 4.5. Označení vzorků
- Obr. 4.6. Vzorek po frézování a po přebroušení



SEZNAM LITERATURY

- [1] NECKÁŘ, F., KVASNIČKA, I., Vybrané statě z úběru materiálu. 1.vyd.
Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991. ISBN 80-01-00696-4.
- [2] ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3– 1. díl- Metody, stroje a
nástroje pro obrábění. 1. vyd. Praha: Scientia, spol s.r.o. 2000. ISBN 80-7183-
207-3.
- [3] HOLEŠOVSKÝ, F., JANDEČKA, K., JERSÁK, J., KOCHMAN, K., aj.
Strojírenská technologie. Ročník XI. Číslo 3. Ústí nad Labem: Univerzita J. E.
Purkyně, 2006. ISSN 1211-4162.
- [4] IMAI, M. Gemba kaizen. Řízení a zlepšování kvality na pracovišti. Computer
Press. Brno. 2008. ISBN 80-251-0850-3.
- [5] TYKAL, M., Česká technická norma ČSN EN ISO 4287. ČKD Technické
laboratoře a.s., Praha, 1999. ICS 17.040.20.
- [6] Aplikační, katalogový list, Praha: Triga, spol. s.r.o., 2000.
- [7] Aplikační, bezpečnostní listy, Pardubice: Paramo a.s., 2008.
- [8] TESAŘ, J., KUNEŠ, J., Stanovení poměrné plošné drsnosti povrchu. Plzeň:
Západočeská univerzita, 2006.
- [9] MASLOV, J., N. Teorie broušení kovů. 1. vyd. Praha: SNTL- Nakladatelství
technické literatury, 1979.
- [10] KOŠTURIÁK, J., CHÁL, J. Inovace. Vaše konkurenční výhoda.
Computer Press. Brno. 2008. ISBN 978-80-251-1929-7.
- [11] ŠTRAJBL, J. Obráběcí stroje. Praha: SNTL- Nakladatelství technické
literatury, 1972.



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Měření drsnosti povrchu při navrhování metodiky- ocel 12 050.1 1

Příloha 2

Měření drsnosti povrchu při navrhování metodiky- ocel 14 100.4 2

Příloha 3

Měření drsnosti povrchu při navrhování metodiky- ocel 19 733.4 3

Příloha 4

Měření drsnosti při porovnání vlivu procesních kapalin- ocel 12 050.1 4

Příloha 5

Měření drsnosti při porovnání vlivu procesních kapalin- ocel 14 100.4 6

Příloha 6

Měření drsnosti při porovnání vlivu procesních kapalin- ocel 19 733.4 8



Měření drsnosti povrchu při navrhování metodiky- ocel 12 050.1

NA SUCHO bez vyjiskření												
12 050.1		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	A4	0,55	0,488	0,498	0,551	0,607	0,474	0,573	0,434	0,62	0,454	0,525
0,02	A5	0,546	0,538	0,532	0,563	0,53	0,421	0,532	0,477	0,553	0,617	0,531
0,03	B1	0,683	0,608	0,615	0,572	0,527	0,598	0,578	0,574	0,509	0,51	0,577

NA SUCHO s vyjiskřením												
12 050.1		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	A1	0,361	0,41	0,367	0,381	0,362	0,377	0,396	0,364	0,376	0,412	0,381
0,02	A2	0,411	0,431	0,392	0,421	0,414	0,403	0,413	0,373	0,396	0,412	0,407
0,03	A3	0,43	0,443	0,484	0,396	0,41	0,411	0,413	0,393	0,408	0,4	0,419

ERO SB bez vyjiskření												
12 050.1		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	B5	0,558	0,566	0,441	0,54	0,498	0,486	0,479	0,458	0,535	0,546	0,511
0,02	C1	0,486	0,41	0,526	0,486	0,468	0,641	0,622	0,458	0,369	0,617	0,508
0,03	C2	0,501	0,536	0,409	0,436	0,564	0,592	0,518	0,598	0,369	0,532	0,506

ERO SB s vyjiskřením												
12 050.1		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	B2	0,403	0,425	0,393	0,39	0,402	0,367	0,356	0,436	0,403	0,388	0,396
0,02	B3	0,39	0,374	0,389	0,39	0,402	0,447	0,458	0,443	0,451	0,44	0,418
0,03	B4	0,395	0,49	0,439	0,464	0,472	0,388	0,431	0,449	0,447	0,419	0,439



Měření drsnosti povrchu při navrhování metodiky- ocel 14 100.4

NA SUCHO bez vyjiskření												
14 100.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	20	0,409	0,489	0,493	0,557	0,556	0,502	0,53	0,527	0,555	0,493	0,511
0,02	15	0,566	0,509	0,486	0,498	0,509	0,595	0,485	0,545	0,453	0,526	0,517
0,03	14	0,512	0,611	0,516	0,595	0,507	0,616	0,567	0,521	0,536	0,594	0,558

NA SUCHO s vyjiskřením												
14 100.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	30	0,409	0,386	0,396	0,369	0,389	0,387	0,391	0,385	0,363	0,379	0,385
0,02	31	0,396	0,363	0,373	0,364	0,374	0,376	0,364	0,366	0,37	0,38	0,373
0,03	28	0,384	0,391	0,382	0,364	0,391	0,379	0,403	0,389	0,386	0,39	0,386

ERO SB bez vyjiskření												
14 100.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	5	0,458	0,483	0,387	0,482	0,474	0,469	0,481	0,494	0,364	0,462	0,455
0,02	4	0,361	0,463	0,484	0,479	0,434	0,483	0,553	0,572	0,499	0,33	0,466
0,03	1	0,48	0,464	0,41	0,521	0,578	0,478	0,35	0,544	0,461	0,478	0,476

ERO SB s vyjiskřením												
14 100.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	12	0,381	0,379	0,384	0,363	0,361	0,391	0,371	0,38	0,384	0,409	0,380
0,02	10	0,402	0,389	0,386	0,381	0,382	0,374	0,376	0,407	0,391	0,395	0,388
0,03	9	0,368	0,369	0,374	0,376	0,386	0,386	0,391	0,378	0,389	0,383	0,380



Měření drsnosti povrchu při navrhování metodiky- ocel 19 733.4

NA SUCHO bez vyjiskření												
19 733.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	4	0,392	0,49	0,445	0,419	0,472	0,39	0,437	0,408	0,41	0,43	0,429
0,02	5	0,454	0,443	0,422	0,48	0,425	0,4	0,379	0,422	0,462	0,451	0,434
0,03	6	0,454	0,461	0,454	0,471	0,469	0,485	0,523	0,494	0,488	0,425	0,472

NA SUCHO s vyjiskřením												
19 733.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	3	0,35	0,367	0,381	0,376	0,38	0,391	0,37	0,373	0,385	0,394	0,377
0,02	2	0,355	0,38	0,415	0,391	0,349	0,366	0,39	0,38	0,37	0,365	0,376
0,03	1	0,39	0,391	0,396	0,393	0,404	0,393	0,394	0,387	0,389	0,396	0,393

ERO SB bez vyjiskření												
19 733.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	9	0,407	0,414	0,405	0,421	0,407	0,367	0,372	0,377	0,384	0,425	0,398
0,02	8	0,435	0,366	0,41	0,393	0,372	0,401	0,431	0,437	0,402	0,434	0,408
0,03	7	0,398	0,398	0,403	0,399	0,439	0,433	0,422	0,419	0,383	0,383	0,408

ERO SB s vyjiskřením												
19 733.4		Ra (μm)										
ap (mm)	vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
0,01	10	0,349	0,366	0,361	0,344	0,344	0,364	0,363	0,375	0,372	0,337	0,358
0,02	11	0,386	0,377	0,361	0,345	0,336	0,341	0,407	0,35	0,398	0,41	0,371
0,03	12	0,381	0,373	0,373	0,374	0,377	0,375	0,383	0,377	0,38	0,367	0,376



Měření drsnosti při porovnání vlivu procesních kapalin- ocel 12 050.1

DESTILOVANÁ VODA											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
A1	0,469	0,421	0,448	0,442	0,413	0,463	0,44	0,483	0,486	0,492	0,456
A2	0,444	0,488	0,494	0,463	0,462	0,43	0,433	0,44	0,452	0,47	0,458
A3	0,436	0,448	0,472	0,432	0,429	0,448	0,445	0,487	0,405	0,479	0,448
A4	0,464	0,443	0,506	0,494	0,445	0,504	0,424	0,459	0,503	0,499	0,474
A5	0,477	0,419	0,42	0,425	0,456	0,467	0,459	0,41	0,442	0,494	0,447
stř. hodnota	0,456±0,018										0,456

PARAMO EOPS UNI											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
B1	0,468	0,403	0,428	0,468	0,432	0,404	0,422	0,455	0,428	0,424	0,433
B2	0,433	0,388	0,347	0,351	0,398	0,401	0,402	0,437	0,477	0,383	0,402
B3	0,418	0,42	0,429	0,49	0,425	0,463	0,425	0,434	0,421	0,356	0,428
B4	0,402	0,412	0,402	0,447	0,431	0,419	0,408	0,451	0,412	0,435	0,422
B5	0,442	0,464	0,446	0,441	0,388	0,451	0,436	0,38	0,409	0,503	0,436
stř. hodnota	0,424±0,022										0,424

PARAMO SK 220											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
C1	0,387	0,472	0,441	0,404	0,423	0,422	0,429	0,421	0,414	0,419	0,423
C2	0,4	0,45	0,436	0,468	0,432	0,439	0,452	0,417	0,412	0,425	0,433
C3	0,458	0,443	0,415	0,437	0,443	0,428	0,435	0,443	0,435	0,381	0,432
C4	0,411	0,401	0,461	0,439	0,379	0,425	0,429	0,377	0,423	0,401	0,415
C5	0,419	0,388	0,434	0,418	0,45	0,441	0,445	0,438	0,413	0,415	0,426
stř. hodnota	0,426±0,11										0,426

TRIGA DIOL											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
D1	0,389	0,433	0,406	0,422	0,409	0,409	0,407	0,406	0,344	0,39	0,402
D2	0,396	0,415	0,397	0,415	0,407	0,401	0,405	0,415	0,373	0,357	0,398
D3	0,403	0,408	0,399	0,414	0,377	0,405	0,372	0,412	0,354	0,38	0,392
D4	0,365	0,373	0,422	0,4	0,404	0,417	0,415	0,428	0,386	0,378	0,399
D5	0,352	0,345	0,376	0,343	0,357	0,357	0,384	0,408	0,404	0,38	0,371
stř. hodnota	0,392±0,021										0,392



PARAMO ERO SB											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
E1	0,417	0,37	0,386	0,366	0,358	0,413	0,366	0,372	0,406	0,407	0,386
E2	0,388	0,375	0,409	0,401	0,395	0,384	0,401	0,419	0,389	0,392	0,395
E3	0,412	0,358	0,369	0,412	0,351	0,388	0,37	0,376	0,4	0,392	0,383
E4	0,393	0,362	0,407	0,356	0,394	0,402	0,403	0,376	0,368	0,387	0,385
E5	0,38	0,372	0,392	0,377	0,408	0,39	0,395	0,405	0,36	0,373	0,385
stř. hodnota	0,387±0,008										0,387

CIMCOOL CIMSTAR 598											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
F1	0,469	0,439	0,477	0,442	0,466	0,474	0,49	0,458	0,469	0,46	0,464
F2	0,448	0,455	0,454	0,458	0,471	0,449	0,46	0,454	0,457	0,456	0,456
F3	0,47	0,414	0,47	0,455	0,434	0,449	0,463	0,408	0,444	0,448	0,446
F4	0,39	0,404	0,407	0,415	0,415	0,427	0,428	0,477	0,408	0,444	0,422
F5	0,427	0,434	0,41	0,417	0,477	0,454	0,483	0,476	0,44	0,389	0,441
stř. hodnota	0,446±0,024										0,446

PARAMO ERO AW											
12 050.1	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
G1	0,384	0,38	0,387	0,401	0,388	0,379	0,386	0,384	0,393	0,403	0,389
G2	0,402	0,414	0,374	0,4	0,415	0,401	0,38	0,392	0,392	0,398	0,397
G3	0,389	0,389	0,397	0,398	0,392	0,416	0,412	0,381	0,392	0,411	0,398
G4	0,396	0,389	0,406	0,409	0,384	0,388	0,403	0,394	0,403	0,386	0,396
G5	0,405	0,388	0,405	0,378	0,399	0,41	0,375	0,405	0,388	0,396	0,395
stř. hodnota	0,395±0,006										0,395



Měření drsnosti při porovnání vlivu procesních kapalin- ocel 14 100.4

DESTILOVANÁ VODA											
14 100.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
35	0,407	0,412	0,435	0,406	0,405	0,444	0,422	0,459	0,422	0,425	0,424
36	0,437	0,478	0,438	0,409	0,408	0,414	0,451	0,458	0,429	0,478	0,440
43	0,421	0,424	0,434	0,415	0,362	0,41	0,399	0,45	0,413	0,418	0,415
44	0,417	0,393	0,416	0,446	0,394	0,421	0,43	0,456	0,441	0,413	0,423
49	0,413	0,439	0,399	0,443	0,433	0,435	0,425	0,446	0,407	0,418	0,426
stř. hodnota	0,425±0,015										0,425

PARAMO EOPS UNI											
14 100.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
28	0,372	0,363	0,349	0,384	0,373	0,364	0,388	0,343	0,368	0,37	0,367
30	0,385	0,409	0,351	0,382	0,397	0,415	0,403	0,394	0,378	0,383	0,390
31	0,398	0,382	0,363	0,37	0,372	0,361	0,385	0,389	0,4	0,36	0,378
9	0,342	0,354	0,402	0,365	0,372	0,373	0,419	0,401	0,392	0,34	0,376
10	0,406	0,4	0,394	0,378	0,398	0,399	0,361	0,362	0,384	0,376	0,386
stř. hodnota	0,379±0,012										0,379

PARAMO SK 220											
14 100.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
4	0,412	0,417	0,419	0,403	0,398	0,393	0,423	0,426	0,366	0,409	0,407
12	0,392	0,365	0,397	0,408	0,36	0,402	0,396	0,387	0,369	0,42	0,390
38	0,375	0,41	0,382	0,386	0,398	0,367	0,372	0,376	0,392	0,395	0,385
45	0,349	0,364	0,366	0,351	0,383	0,409	0,41	0,382	0,349	0,388	0,375
50	0,391	0,397	0,39	0,375	0,406	0,395	0,434	0,436	0,364	0,367	0,396
stř. hodnota	0,39±0,017										0,390

TRIGA DIOL											
14 100.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
9	0,387	0,426	0,427	0,417	0,398	0,404	0,405	0,399	0,4	0,402	0,407
10	0,431	0,405	0,388	0,396	0,426	0,401	0,384	0,42	0,41	0,426	0,409
28	0,378	0,424	0,422	0,394	0,415	0,387	0,418	0,429	0,411	0,424	0,41
30	0,393	0,388	0,415	0,429	0,421	0,418	0,412	0,391	0,42	0,404	0,409
31	0,414	0,429	0,416	0,401	0,412	0,389	0,396	0,409	0,418	0,415	0,41
stř. hodnota	0,409±0,002										0,409



PARAMO ERO SB											
14 100.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
1	0,4	0,422	0,434	0,387	0,403	0,417	0,39	0,444	0,417	0,393	0,411
5	0,363	0,374	0,393	0,426	0,443	0,385	0,405	0,41	0,42	0,376	0,4
14	0,399	0,407	0,377	0,38	0,379	0,362	0,424	0,419	0,413	0,437	0,4
15	0,403	0,444	0,411	0,405	0,359	0,396	0,432	0,409	0,371	0,419	0,405
20	0,379	0,389	0,381	0,379	0,392	0,367	0,418	0,38	0,442	0,378	0,391
stř. hodnota	0,401±0,01										0,401

CIMCOOL CIMSTAR 598											
14 100.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
4	0,434	0,466	0,435	0,431	0,419	0,425	0,406	0,445	0,411	0,415	0,429
12	0,417	0,406	0,399	0,385	0,392	0,386	0,38	0,402	0,399	0,392	0,396
38	0,402	0,44	0,423	0,419	0,411	0,419	0,382	0,401	0,404	0,408	0,411
45	0,42	0,419	0,41	0,406	0,424	0,422	0,402	0,406	0,415	0,407	0,413
50	0,438	0,413	0,427	0,406	0,426	0,436	0,456	0,421	0,465	0,414	0,43
stř. hodnota	0,416±0,014										0,416

PARAMO ERO AW											
14 100.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
35	0,416	0,402	0,42	0,391	0,399	0,419	0,419	0,407	0,444	0,403	0,412
36	0,395	0,41	0,416	0,413	0,41	0,433	0,39	0,432	0,414	0,415	0,413
43	0,381	0,436	0,445	0,414	0,421	0,422	0,429	0,393	0,45	0,438	0,423
44	0,46	0,464	0,448	0,454	0,449	0,425	0,42	0,458	0,454	0,42	0,445
49	0,411	0,423	0,37	0,382	0,437	0,392	0,44	0,418	0,459	0,452	0,418
stř. hodnota	0,422±0,023										0,422



Měření drsnosti při porovnání vlivu procesních kapalin- ocel 19 733.4

DESTILOVANÁ VODA											
19 733.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
A1	0,409	0,464	0,43	0,413	0,451	0,446	0,475	0,428	0,421	0,407	0,434
A2	0,42	0,409	0,437	0,425	0,411	0,429	0,436	0,439	0,422	0,41	0,424
A3	0,438	0,419	0,424	0,42	0,417	0,445	0,447	0,457	0,408	0,429	0,430
A4	0,406	0,442	0,421	0,41	0,422	0,46	0,446	0,418	0,412	0,415	0,425
A5	0,429	0,498	0,482	0,45	0,501	0,398	0,431	0,445	0,468	0,462	0,456
	0,434±0,022										0,434

PARAMO EOPS UNI											
19 733.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
C1	0,392	0,404	0,401	0,391	0,365	0,367	0,377	0,361	0,397	0,345	0,380
C2	0,365	0,346	0,382	0,378	0,378	0,361	0,355	0,36	0,387	0,355	0,367
C3	0,395	0,393	0,332	0,358	0,384	0,348	0,396	0,371	0,39	0,389	0,376
C4	0,335	0,366	0,359	0,341	0,341	0,372	0,408	0,364	0,384	0,351	0,362
C5	0,388	0,377	0,403	0,45	0,372	0,376	0,347	0,358	0,358	0,361	0,379
	0,373±0,011										0,373

PARAMO SK 220											
19 733.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
B1	0,405	0,425	0,408	0,401	0,422	0,35	0,43	0,382	0,367	0,371	0,396
B2	0,38	0,389	0,417	0,394	0,373	0,41	0,424	0,397	0,399	0,412	0,400
B3	0,38	0,388	0,382	0,352	0,397	0,368	0,343	0,335	0,352	0,388	0,369
B4	0,429	0,373	0,394	0,39	0,4	0,366	0,364	0,388	0,398	0,373	0,388
B5	0,393	0,366	0,383	0,4	0,397	0,398	0,382	0,38	0,397	0,34	0,384
	0,387±0,018										0,387

TRIGA DIOL											
19 733.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
C1	0,395	0,409	0,408	0,421	0,41	0,412	0,417	0,411	0,421	0,407	0,411
C2	0,407	0,412	0,419	0,417	0,41	0,42	0,431	0,4	0,404	0,405	0,413
C3	0,403	0,405	0,429	0,401	0,409	0,409	0,4	0,407	0,401	0,422	0,409
C4	0,413	0,415	0,403	0,397	0,405	0,397	0,398	0,417	0,417	0,408	0,407
C5	0,388	0,395	0,402	0,415	0,425	0,42	0,422	0,382	0,391	0,409	0,405
	0,409±0,004										0,409



PARAMO ERO SB											
19 733.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
D1	0,393	0,39	0,394	0,401	0,406	0,429	0,441	0,446	0,393	0,443	0,414
D2	0,383	0,376	0,44	0,433	0,39	0,428	0,449	0,45	0,375	0,401	0,413
D3	0,368	0,377	0,362	0,362	0,415	0,439	0,397	0,38	0,407	0,436	0,394
D4	0,409	0,403	0,378	0,381	0,424	0,393	0,4	0,384	0,408	0,367	0,395
D5	0,365	0,39	0,396	0,428	0,374	0,407	0,444	0,377	0,366	0,38	0,393
	0,402±0,011										0,402

CIMCOOL CIMSTAR 598											
19 733.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
B1	0,45	0,416	0,434	0,451	0,418	0,407	0,429	0,446	0,432	0,436	0,432
B2	0,416	0,433	0,435	0,42	0,45	0,429	0,429	0,43	0,447	0,412	0,43
B3	0,462	0,451	0,431	0,421	0,42	0,422	0,434	0,415	0,432	0,403	0,429
B4	0,404	0,433	0,417	0,437	0,437	0,414	0,415	0,423	0,431	0,438	0,425
B5	0,429	0,423	0,415	0,434	0,414	0,405	0,403	0,402	0,429	0,442	0,42
	0,427±0,007										0,427

PARAMO ERO AW											
19 733.4	Ra (μm)										
vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø
A1	0,4	0,401	0,424	0,408	0,354	0,371	0,411	0,439	0,452	0,392	0,405
A2	0,464	0,427	0,436	0,453	0,434	0,45	0,466	0,417	0,489	0,503	0,454
A3	0,416	0,404	0,42	0,4	0,423	0,349	0,408	0,404	0,389	0,4	0,401
A4	0,327	0,385	0,402	0,399	0,395	0,441	0,473	0,437	0,423	0,396	0,408
A5	0,43	0,377	0,364	0,467	0,437	0,408	0,395	0,423	0,423	0,437	0,416
	0,417±0,037										0,417